



La tectonique de l'Asie. Conférence faite à Bruxelles, le 10 août 1922

Emile Argand

► To cite this version:

Emile Argand. La tectonique de l'Asie. Conférence faite à Bruxelles, le 10 août 1922. Congrès géologique international (XIII^e session)- Belgique 1922, Jun 1922, Belgique. pp.171-372. insu-00575289

HAL Id: insu-00575289

<https://hal-insu.archives-ouvertes.fr/insu-00575289>

Submitted on 10 Mar 2011

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

ARGAND (E.) B

CONGRÈS GÉOLOGIQUE INTERNATIONAL

XIII^e Session



Belgique 1922

Emile ARGAND

LA TECTONIQUE DE L'ASIE

Conférence faite à Bruxelles,
le 10 août 1922,
devant le Congrès géologique international (XIII^e session)

Extrait du COMPTE-RENDU
du XIII^e Congrès géologique international 1922.

LIÈGE
IMPRIMERIE VAILLANT-CARMANNE
1924

LIBRAIRIE
de GÉOLOGIE
de GRENOBLE

F.

à Monsieur Pierre-Charles Lor
hommage dévoué
Argand

CONGRÈS GÉOLOGIQUE INTERNATIONAL

ARGAND (E.)

XIII^e Session



Belgique 1922

Emile ARGAND

LA TECTONIQUE DE L'ASIE

Conférence faite à Bruxelles,
le 10 août 1922,
devant le Congrès géologique international (XIII^e session)

Extrait du COMPTE-RENDU
du XIII^e Congrès géologique international 1922.

LIÈGE
IMPRIMERIE VAILLANT-CARMANNE
1924



Émile ARGAND

LA TECTONIQUE DE L'ASIE

Conférence faite à Bruxelles, le 10 août 1922,
devant le Congrès géologique international (XIII^e session.)

Douze ans ont passé, Messieurs, sur les dernières pages du grand œuvre de SUSS, douze ans pendant lesquels nombre de travaux distingués, consacrés aux régions les plus diverses de la Terre, ont paru, apportant un inestimable contingent de faits nouveaux et d'interprétations parfois hardies. Si le maître revenait parmi nous, il inclinera peut-être à retoucher tel détail du plan, à compléter telle esquisse ou à conter tel épisode dans d'autres arrangements ; il ne songerait pas, gageons-le, à modifier les lignes majeures du monument, tant l'ordonnance en demeure juste.

Marcel BERTRAND, qui portait en ses vues la profondeur et la force, a parlé de plissements calédoniens, hercyniens, alpins. Cet ordre et ces coupures, où paraît la sûreté d'un maître, demeureront. Ils valent pour la Terre entière. Laissant de côté pour l'instant les plissements précambriens, que nous savons avoir joué par cycles bien des fois répétés, nous dirons, en manière de propos liminaire, en quel sens il est question ici de plissements calédoniens, hercyniens, alpins. Nous entendons par là, dans chacun des trois cas, tout un cycle d'orogénèse avec sa longue préparation faite de plissements précurseurs, ses paroxysmes où les plis excellent dans leur force, son déclin marqué par des plissements attardés. Quand, dans ces durées, nous voudrions évoquer telle phase éminente ou plus effacée ; quand nous penserons à quelque bref épisode qui s'y insère, nous le dirons. Il serait, d'ailleurs, hors de toute vraisemblance que les limites d'un cycle fussent absolument tranchées et partout exactement les mêmes dans le temps. Il y a d'excellentes raisons pour que le contraire arrive ; aussi gardons-nous sur ces points la faculté d'observer des marges qui, les faits l'indiqueront, sont toujours étroites. Ces détails réservés, les plissements calédoniens sont le fait d'un cycle d'âge paléozoïque inférieur ; les plissements hercyniens, d'un cycle d'âge paléozoïque supérieur ; les plissements alpins, d'un cycle qui embrasse les temps secondaires, tertiaires et quaternaires, le présent compris.

L'opportunité de revoir, par larges aperçus et par points précis, nos grands ensembles continentaux, tient aux progrès accomplis en ces dernières années dans l'ordre des faits et, il n'y a pas d'excès à le dire, dans

l'art de les interpréter. C'est pourquoi quelques instants seront d'abord consacrés à ce dernier point.

I

Les volumes, les surfaces, les lignes, en un mot les structures qui composent un édifice tectonique ne sont pas tout : il y a le mouvement qui anime, qui anime encore ces choses, car l'histoire continue et nous vivons, sans privilège d'aucune sorte, à un instant quelconque de cette grande affaire. Nous dirions volontiers qu'il y a une tectonique en arrêt et une tectonique en mouvement. La première, c'est l'art de définir l'état présent des structures : il n'y faut que des observations bien faites, complétées, je n'ai pas à dire ici comment, par de bons rapprochements et par de bonnes interprétations. En arrêt par son attitude devant les choses, cette tectonique-là ne saurait se suffire, car les choses, elles, ne s'arrêtent pas. La tectonique en mouvement ce serait, au terme, une tectonique achevée, une histoire ininterrompue des déformations de la planète, où tous les témoignages viendraient se relier sans lacune. Cet idéal est irréalisable, mais longtemps encore on s'en approchera pourvu que la tectonique en arrêt, point de départ obligé, soit vraiment élucidée dans toute la mesure où il se peut et pourvu que l'art, délicat et subtil entre tous, d'y remettre le mouvement, soit pratiqué avec justesse. Car vous ne pouvez voir le mouvement comme vous voyez les structures, à la manière d'un objet qui pose à plein : ce mouvement, vous devez le recréer par la pensée ; le conduire de manière à expliquer, tout au long des âges, les témoignages conservés ; le suggérer enfin par l'image.

Il sera bien plus question, ici, de tectonique concrète que de théories orogéniques, ce genre de constructions où l'on s'efforce de couler dans des formules trop exactes une matière trop riche, en ramenant à des lois physiques simples la mouvance illimitée et si imparfaitement connue des objets structuraux.

Il s'agit bien, assurément, de voir, mais en un tout autre sens que celui qui est impliqué dans la force originelle du mot théorie. Notre ambition, plus mesurée, est de revoir, en la précisant, de la tectonique en arrêt, et de faire voir de la tectonique en mouvement. Nous ne prétendons pas réduire la tectonique à la physique : c'est affaire à l'avenir. Nous ne voulons que susciter, autant que le permettent les lacunes encore immenses des témoignages, l'image de formes en mouvement et la vision, hélas très incomplète, d'une histoire.

Aperçue dans sa totalité, cette histoire serait entièrement faite de déformations tectoniques qui s'accompliraient dans les trois dimensions d'un espace toujours rempli sans lacune, au long des temps géologiques ; qui s'enchaîneraient, dans l'instant, en un jeu d'interactions rendu transparent ; d'un instant à l'autre, en un déterminisme pleinement saisi ; qui

rattacheraient entre eux tous les événements d'un même cycle d'orogénèse, et chaque cycle au précédent ; qui régleraient, à chaque moment, tout ce qu'il y a d'un peu général dans l'assiette et dans la nature des sédiments, tant continentaux que marins, et dans la condition topographique des territoires ; qui rendraient compte, en les expliquant, de l'ordre stratigraphique et de l'ordre morphologique. Ce mouvement d'images, comparable à un vol au ras des faits, en serait comme la clef ; il s'approprierait les données et ramasserait en son ordre souple tout ce qu'elles contiennent d'un peu grand ; il engendrerait l'explication des choses, non point par une théorie exacte, mais en un récit vrai. On verrait ainsi, à la manière d'un spectateur idéal et privilégié qui aurait assisté au déroulement de cette histoire, et l'aurait su condenser en un jeu d'images plus rapide, tous les phénomènes dans toutes leurs relations. Qu'il soit permis à la tectonique de prendre ce tour nouveau, pleinement asservi aux faits et pourtant si aisé, c'est ce que montre assez, pour un objet limité mais riche de complications, l'histoire des mouvements des Alpes Occidentales telle qu'on l'a restituée il y a peu. Je dis prendre ce tour et non pas rejoindre un terme : on ne fera jamais que s'en approcher par degrés, mais c'est la voie. Voilà donc marqués, très au-dessus de nos prises actuelles, le but idéal de tant d'efforts, et pour le présent, la direction qui convient.

Mais ces vues si larges ne sont fécondes qu'à la condition de pénétrer harmonieusement le tissu des faits, à toutes les échelles de la tectonique : échelle continentale, échelle de la chaîne, de la nappe, du pli, de la plaque mince même. De plus, elles ne valent qu'en liaison avec des vues inégalement embrassantes qui sont d'abord celles de la géologie classique, en grande partie acceptées de nous, et ensuite celles, tantôt neuves, tantôt renouvelées, tantôt simplement revisées, que nous suggère notre propre expérience. C'est pourquoi nous inclinons, dès ces prémisses, à mentionner en bref quelques-uns de ces derniers tours : l'exposé des interprétations régionales, qui doit venir ensuite, s'en trouvera notablement allégé. On voudra bien nous pardonner, en raison de l'heure qui va passer, ce qu'il peut y avoir, dans des rappels aussi concis, d'absolu en apparence : le fond de la pensée ne saurait l'être et les nuances inséparables d'un ordre aussi délicat, aussi mouvant, seront rendues à leur place, pour chaque objet particulier, comme nous nous sommes efforcé de le faire ailleurs.

En premier lieu, les restitutions de structures et de mouvements qui se bornent à une ou deux dimensions demeurent toujours plus ou moins analytiques ou épisodiques. Il n'y a pas de synthèse tectonique sans la vision d'un continu à trois dimensions en train de se déformer.

Secondement, les chaînes de montagnes ne sont pas toujours réductibles à un seul type de structure : c'est plus haut, dans le mouvement même, qu'est le principe d'unité explicative. Toutes les chaînes ne naissent pas de

géosynclinaux : celles qui en proviennent se ramènent habituellement, quant à leur préparation, au jeu de sillons et de cordillères plus ou moins arqués, du type des guirlandes insulaires ; quant à leurs paroxysmes orogéniques, à l'exagération de ces mouvements et de ces formes, souvent poussées jusqu'à la nappe répétée en empilements ; quant aux plissements attardés, à l'accentuation modérée et maintes fois reprise dans le même style, des déformations antérieurement acquises. Plissements précurseurs, plissements paroxysmaux et répliques attardées, voilà ce qui fait, au long des temps, un cycle d'orogénèse et l'histoire d'une chaîne de montagnes, géosynclinale ou non, n'est pas beaucoup plus — à prendre le cycle entier — que le jeu constamment renouvelé de ses plis. A chaque moment ce jeu s'impose, par le plus fin des réglages, à la distribution horizontale des dépôts qui se forment dans la chaîne et dans ses entours, au près et au loin ; à chaque moment aussi le jeu se modifie : sa fonction régulatrice s'étend donc à la distribution verticale des sédiments et de leurs changements de faciès. Il en est de même pour la condition topographique des parties émergées : dorsales de cordillères embryonnaires ou de chaînes presque faites ; tranches d'avant-pays qui gauchissent sous la poussée horizontale transmise par la chaîne ou qui se courbent en lourds plis de fond ; et comme l'effort évidemment tangentiel qui mène tout cela manifeste, au long d'un cycle d'orogénèse, un grand nombre de maxima et de minima, de reprises et d'affaiblissements, on voit que l'évolution topographique de ces objets comportera autant de cycles morphologiques qu'il y aura eu de reprises ; que ces cycles seront très inégalement poussés et que chaque grande division d'un cycle d'orogénèse — période embryonnaire, paroxysmes, période des répliques — embrassera, dans la règle, un grand nombre de cycles morphologiques, sans que, jusqu'à ce point de notre exposé, il y ait lieu de faire intervenir le moindre mouvement vertical pur, épirogénique ou non. C'est que les objets tectoniques, en se rétrécissant sous l'effort tangentiel, sont bien obligés de monter ou de descendre en gauchissant : il y a donc un effet vertical qui dérive directement de l'effort tangentiel, et trop souvent cet effet a été pris pour un mouvement vertical indépendant de la déformation. Aux époques d'affaiblissement de l'effort tangentiel, les objets tectoniques, moins soutenus latéralement, conservent en profondeur les plissements acquis. Ils marquent dans toute leur masse, avec le concours de l'isostasie, de petits mouvements plus ou moins verticaux qui résultent, en fin de compte, d'actions tangentielles et donnent l'impression trompeuse de soulèvements et d'affaissements purs. A presser la question, on dégage sans peine la racine de ces illusions : l'élément vertical de la déformation, très apparent dans ses effets morphologiques ou stratigraphiques, est souvent beaucoup plus manifeste que la déformation dans les deux dimensions horizontales, surtout quand il s'agit de petits mouvements précurseurs ou attardés : des

trois aspects contemporains d'une même déformation, deux sont négligés et plus souvent encore passent inaperçus ; le troisième, isolé par la pensée, fait figure de phénomène indépendant ou même postérieur. Mais la nature, qui ne travaille qu'en volume, ne prend pas souci de ces artifices d'analyse. Savoir réintégrer les *dissecta membra* de l'analyse dans le flux mouvant des choses, et le détail discontinu dans l'ensemble continu, tout est là : si l'on n'y pense, il peut arriver que des tectoniques régionales, en réalité harmonieusement coulées d'un seul jet, soient présentées comme un chaos de mouvements épirogéniques et de failles radiales.

En troisième lieu, disons que les mêmes illusions ne sont pas rares dans le traitement d'un autre problème qui embrasse, avec l'origine des inclinaisons d'axe des plis, le mode d'émersion des chaînes. Ce n'est pas seulement en plan que les chaînes, les nappes et les plis subissent l'influence des obstacles : c'est au total, en volume. Le flux plastique, en s'écoulant, éprouve une retenue à l'arrière des obstacles : il s'élèvera donc, toutes choses égales d'ailleurs, plus haut dans les segments à obstacle que dans ceux où l'écoulement demeure moins contrarié. Dans le premier cas il se formera, sauf circonstances particulières, un bombement axial ; dans le second un segment moins exalté. Ce que révèlent les coupes en long, ce n'est donc pas, à l'ordinaire, une inégale ascension des chaînes, des nappes ou des plis qui se serait accomplie, à la manière d'un mouvement épirogénique, après le plissement : cette exaltation et cet abaissement des axes ne sont que des aspects verticaux du plissement lui-même, et il va de soi qu'ils en sont contemporains.

Quatrièmement, il peut y avoir péril à exagérer la valeur des failles verticales et à surestimer leur importance à l'égard des grandes structures déformées dans lesquelles elles jouent. Sans doute d'innombrables fractures plus ou moins proches de la verticale, et dotées des rejets les plus variés, longent ou découpent des horsts, des fossés, des dômes ou des cuvettes de rayon de courbure quelconque, et hâchent des couvertures tabulaires. Nous reviendrons comme il se doit sur ces choses : voyons-les, pour l'instant, par un certain côté. Qu'on s'avise de construire tous ces objets dans leurs vraies proportions, sans surfaire les hauteurs, et voici les failles du plus grand rejet tombées au rang de faibles détails dans d'immenses structures largement courbées. Ne devine-t-on pas, dès maintenant, que c'est cette déformation en volume et non cette craquelure qui est l'affaire ; que la seconde consomme beaucoup moins d'énergie que la première et pourrait n'en être qu'un effet de détail ? Cette impression devient singulièrement forte quand on peut croire que gauchissement et craquelure sont contemporains, et il existe, nous le verrons, plus d'un moyen de faire la lumière sur ces divers points. Que devient une fracture du plus grand rejet au bord d'un dôme comme le bouclier baltique, ou même au bord d'un paquet moins étendu et très largement gauchi comme le pla-

teau du Colorado ? au bord d'une chaîne andine de grand tonnage comme la Sierra Nevada ? voire au bord de petits voussours comme les chaînons du Gobi ou du Great Basin ? Qu'il subsiste dans le monde, après ces coups de sonde que bien d'autres suivront, des dislocations radiales, cela demeure concevable mais, et si surprenante que puisse paraître cette affirmation, je m'empresse d'ajouter que nous n'en savons rien. Disons donc, en anticipant, que l'interprétation des failles verticales par des jeux radiaux ne repose, en l'état présent de la science, que sur l'impossibilité de la preuve contraire, tandis que leur explication par des jeux tangentiels où figure, comme phénomène originaire, le plissement, est abordable au moyen de critères positifs. Je laisse de côté, pour l'instant, les grandes failles verticales supposées distensives, c'est-à-dire expliquées par traction pure dans le sens horizontal, par traction tangentielle.

En cinquième lieu, il ne sert pas d'invoquer, en faveur des mouvements verticaux purs, le cas des pays tabulaires, puisque, à parler strictement, il n'y en a pas. Ce que l'on appelle ainsi, ce sont des pays très doucement plissés, mais cela n'entraîne pas pour conséquence que l'énergie nécessaire ait été de peu de compte : la puissance mise en jeu dans ces déformations de très grand rayon ne laisse pas que d'être considérable puisque le volume déformé l'est. Il est impossible d'imaginer, dans les vieilles aires, des massifs absolument rigides, pas plus que dans les chaînes *en vigueur*, des flux entièrement plastiques. La notion de pays tabulaire n'est qu'un concept-limite, bon pour la notation approchée de certains aspects, mais que la nature ne se charge pas de réaliser dans sa pureté parfaite. Il n'est pas de pays tabulaire ou autre qui n'ait été comprimé dans le sens horizontal. Que cette compression produise dans une chaîne bien réglée des plis étroits ; dans une vieille infrastructure des plis de fond indépendants des anciens plis morts ; dans les couvertures de ces vieux bâtis des plis de rayon quelconque : ce sont toujours des plis, et c'est toujours de l'orogénèse. Est-ce à dire que les mouvements épirogéniques, délogés, semble-t-il, des chaînes en action et même des aires continentales, doivent être liquidés ? Ces mouvements demeurent-ils inconcevables comme résultat de réajustements dûs à l'isostasie ou à des changements de volume dans les magmas sous-jacents, tant sous les jeunes chaînes que sous les vieux pays ? Leurs effets verticaux ne peuvent-ils se superposer à ceux des jeux de plis, soit dans le même temps, soit après le plissement ? Nous répondrons à ces questions, dans la mesure du possible, après avoir vu ce qu'est, dans le concret, la déformation des continents. Nous verrons qu'il n'est pas de mouvements verticaux qui ne puissent être regardés comme les effets directs ou indirects de déformations en volume dans lesquelles prévalent, à l'ordinaire, les jeux horizontaux. En attendant, on voit que la diagnose des effets orogéniques, dans les vieilles aires comme dans les chaînes en vigueur, est abordable par des témoignages géologiques positifs,

tandis que l'idée de mouvements originaires verticaux ne peut être soutenue qu'en l'absence de ces témoignages. On voit, du coup, en quel sens le plissement est une fonction générale et combien son importance grandit, et dans l'étendue, et en efficacité : il embrasse non seulement les chaînes en vigueur et l'important remaniement des vieux torsos continentaux antérieurement plissés, mais encore, et dans ces deux genres de pays, le réglage de la stratigraphie et des cycles morphologiques. En tout état de cause, il paraît indiqué de ne parler qu'avec une extrême prudence de mouvements verticaux d'origine, et notamment de mouvements épirogéniques. Dans les cas problématiques, on se trouvera bien de parler seulement de déformations à grand rayon de courbure. Il serait difficile d'exagérer notre ignorance des causes physiques des déformations terrestres : on en doit convenir. Mais le rayon de courbure, quelle qu'en soit la mesure, est un fait parfaitement saisissable, tant à l'arrêt qu'en mouvement.

Marquons un sixième point : les arcs, les guirlandes, les chaînes réglées qui ornent la face actuelle de la Terre sont parvenus à des degrés très divers de développement ou de remaniement. Ces objets mouvants ont ceci d'admirable, qu'ils montrent côte à côte, dans l'instant présent, tous les aspects transitoires que l'un d'eux peut présenter au cours de son histoire. Quelle anatomie comparée, et quel musée d'embryologie tectonique ! On pressent quel parti peut être tiré de ce grand fait.

En septième lieu, les phénomènes rangés sous le nom de virgation ont pris, dans ces dernières années, un intérêt nouveau : ils se sont révélés particulièrement propres à la diagnose des jeux les plus délicats qu'un arc ou un train d'arcs puisse manifester en plan et nous aurons mainte occasion d'y revenir.

Huitièmement, on a souvent cru reconnaître, dans diverses chaînes, des plis transversaux plus ou moins intenses. Mais la genèse de plis transversaux, dans une chaîne réglée, est mécaniquement inconcevable hors un cas récemment mis en évidence : celui où un arc d'une certaine largeur est contraint à accentuer la courbure de son plan : le côté externe, travaillant à l'extension, s'étire pendant que le côté interne, siège d'une compression longitudinale, peut prendre des plis transversaux de détail qui sont, comme on voit, liés à la mise en place de l'objet principal et ne forment pas un épisode indépendant.

Neuvièmement, on a souvent pris pour des plis en travers ce qui n'est que la trace, nécessairement transversale en certaines régions, de nappes parfaitement réglées selon le train longitudinal de la chaîne. L'allure transversale des traces — et non des plis — est due dans ces cas à des intersections entre les nappes et la surface topographique, et l'inclinaison d'axe y intervient. Ces circonstances, convenablement interprétées, non seulement conduisent à la découverte de nappes de recouvrement en pays réputés autochtones, mais éliminent jusqu'à l'apparence de plis transver-

saux. Il est clair qu'en pays mal connu, ou dans les géologies insulaires où tant de choses demeurent cachées et comme privées de liaison, la présence de traces transversales, quand elle ne s'explique pas par l'existence de fragments plus anciennement plissés englobés dans la chaîne, ou par des incurvations régionales du plan, ou par le jeu si exceptionnel des vrais plis en travers, indiquera des nappes charriées toujours bonnes à découvrir. Elle conduira encore, dans le cas où l'inclinaison axiale est favorable, à la diagnose d'empilements très épais, comme il est arrivé pour les Alpes Occidentales où rien n'est plus aisé que de dessiner, avec une approximation convenable, des charnières enfouies à vingt kilomètres de profondeur.

Dixièmement, les plissements en retour, qui si longtemps ont semblé une exception énigmatique au déversement unilatéral de chaînes, ont été ramenés à ce dernier mécanisme dont ils ne sont qu'un cas particulier, ordinairement dû à la lutte des plis et des nappes entre eux, au fait que cette lutte est rythmée en phases périodiques et surtout au déplacement vers le bas, au cours de l'histoire d'une chaîne, du point d'application de l'effort tangentiel maximum. On est ainsi débarrassé de la complication qui consisterait à admettre, pour la même chaîne et dans le même jeu homogène, deux poussées distinctes et inverses l'une de l'autre. Qu'on pense de nouveau, maintenant, aux régions imparfaitement connues et aux tectoniques insulaires, on verra quelle prudence exige la diagnose du sens de déversement : en ne disposant que d'observations clairsemées, on ne saura pas toujours, sans autre critique des témoignages, si tel point où le déversement est connu appartient au régime direct prédominant ou au régime rétrograde subordonné, et telle spéculation moderne sur le sens du déversement des arcs peut s'en trouver compromise même quand il y a quelques témoignages épars. A plus forte raison le sera-t-elle quand le déversement n'est inféré que de la forme générale des arcs. En pays imparfaitement connu, c'est seulement, à notre estime, quand certaines formes de virgation sont réalisées que le sens général de la poussée peut être inféré, et cela même en l'absence de charnières.

Onzièmement, il faut dire quelques mots des cas où la coupure d'un cycle d'orogénèse à l'autre n'est pas marquée, suivant la règle, par une discordance angulaire directement appréciable. C'est ce qui arrive aux points où les plis du premier cycle n'ont pas été poussés jusqu'à l'émersion, ou sur lesquels l'émersion n'a pas été assez marquée pour que l'érosion ait pu mordre, au-dessous des carapaces et des faîtes à couches horizontales, dans des structures plus redressées. Cela n'empêche pas que les plissements de ce premier cycle puissent avoir été fort intenses : or, et c'est le point, il est souvent possible, malgré la carence du grand critère habituel, de déceler ces plissements. Selon le cas, ils seront révélés, en profondeur, par les circonstances de la mise en place des granites du premier cycle

et de l'épanouissement de leurs auréoles ; en surface, par une analyse pénétrante de la distribution horizontale et verticale des dépôts ; par des déroulements bien conduits qui aboutiront, pour telle époque, à la restitution de cordillères embryonnaires dissymétriques ; par des lacunes stratigraphiques limitées aux géanticlinaux, lacunes que soulignent, tantôt une concordance, tantôt des discordances très faibles appréciables par les biseaux de transgression ou de régression, avec ou sans conglomérats ; plus exceptionnellement, et seulement sur les géanticlinaux les mieux entamés, par de vraies discordances angulaires toujours limitées en étendue, et dont les aires se distribuent en long. Tous ces traits, sauf le dernier qui du reste demeure parfaitement concevable, ont été rencontrés dans la zone pennique des Alpes Occidentales, et les idées qui s'en dégagent ont des chances d'être utiles ailleurs. Nous avons affaire ici à un géosynclinal qui, à la fin d'un premier cycle — le cycle hercynien — est presque comblé de dépôts et de plis, avec émergence de lisières et de faîtes géanticlinaux à couches souvent horizontales, cependant qu'en profondeur les plis sont beaucoup plus accentués : encore un coup, le géosynclinal replongera et ses plis s'exagéreront au cours du cycle alpin, sans rupture bien considérable entre le passé et l'avenir. Dans un géosynclinal de cette longévité, la concordance des dépôts sera naturellement la règle au cours de plus d'un cycle ; dans les sillons orogéniques profonds, ce sera la loi presque absolue. Plus généralement, il y aura lieu de rechercher, dans tout géosynclinal qui a réussi à se maintenir à travers plus d'une phase ou plus d'un cycle d'orogénèse — le géosynclinal himalayen par exemple — les indices souvent ténus par lesquels les phases et les cycles périmés se manifestent à nous. Les charnières et les discordances seront toujours les témoins les plus apparents du plissement, mais on voit qu'en leur absence, il y a des substituts dont la finesse et la force ne sauraient être méconnues.

En douzième et dernier lieu posons, pour tous les enregistreurs des pulsations du plissement, tels que charnières, discordances, gauchissements de pénéplaines, variations horizontales et verticales des dépôts tant continentaux que marins, la question de leur sensibilité à la déformation. Nous laisserons, en cette affaire, la parole aux témoignages régionaux ou locaux ; remarquons pourtant dès maintenant, en ce qui concerne les dépôts marins, l'inégalité très grande qu'ils peuvent présenter à cet égard. Que deux bourrelets plissés, identiques en toutes choses, leur condition bathymétrique exceptée, jouent tangentiellement avec le même effet vertical : cet effet sera enregistré, si la faîtière est proche du niveau de la mer, par de nombreuses variations des sédiments néritiques ou littoraux ; si elle se maintient en quelque profondeur, l'enregistrement pourra être très peu marqué ou tout à fait absent. La partie des plissements qui joue près du niveau des mers nous est donc donnée dans une sorte de grossissement, et la partie basse en traits beaucoup plus effacés : toutes choses qu'il importe de

bien balancer les unes par les autres, si l'on veut voir les mouvements dans leurs vraies proportions. Ce n'est donc pas trop, pour y parvenir, de tous les critères dont nous venons de faire un faisceau délicat.

Voilà, en un raccourci sommaire, quelques-unes des vues qui nous guident dans cette enquête, et qu'une science soucieuse de bien interpréter, de bien coordonner les innombrables géologies parcellaires ne pourra jamais, croyons-nous, négliger toutes à la fois. Ces vues inégalement embrassantes doivent tendre à s'encadrer toutes, comme nous avons essayé de le marquer, dans une vision éminente qui serait, au terme de la tectonique, l'aperception du mouvement déformateur total.

L'art de ressusciter, ne fût-ce qu'en image, le jeu complexe des déformations découvre, avons-nous dit, le point de vue animateur de la tectonique tout entière : de ce centre recréé s'aperçoivent encore, comme en un cadre mouvant où tout s'enchaîne sans s'arrêter, les conditions dynamiques et tectoniques de l'histoire stratigraphique et du développement morphologique ; il en est de même, jusqu'à un certain point, pour les conditions de la mise en place des roches magmatiques, en profondeur et en surface. S'élever à ce point de vue et de là redescendre, en les expliquant, aux faits connus dans tous les ordres, c'est presque toute la géologie et c'est le fond de notre pensée.

Ce tour a-t-il des chances d'embrasser toute la Terre ? Cette voie mènera-t-elle à des succès qui n'auraient d'autres bornes que celles de la planète ? N'en doutons pas : dans ce grand jeu de la tectonique, de la stratigraphie et de la morphologie, c'est la tectonique en mouvement, la déformation, qui mène le reste.

Embrasser par de telles vues ce que l'on sait des aspects majeurs de notre Terre est encore possible à un seul homme. Faut-il ajouter qu'en pareil cas on doit à autrui presque toute la matière, à laquelle on ne fait guère qu'essayer une forme nouvelle ? Faut-il marquer tout ce qu'il y a d'incomplet, de relatif et de provisoire dans une telle tentative ? D'incomplet, puisque des vides énormes, qui ne seront jamais entièrement comblés, interrompent la trame du savoir humain : ces lacunes mêmes, pourtant, ont leur valeur, puisque c'est souvent à leur endroit que se posent les problèmes. De relatif, puisque la qualité d'un tel essai dépend de celle des géologies parcellaires. De provisoire, puisque la science s'enrichit à chaque instant de faits nouveaux et puisque, à un moment quelconque de cet enrichissement, le degré d'approximation, variable avec les lieux, ne saurait s'égaliser, pour le tout, à ce qui peut être atteint dans telle région limitée. Pourtant, si le tour est bon, bonne sera la tentative : le récit de cet embrassement, dans sa force et dans son imperfection, demeure abordable. Ce récit, vous ne l'attendez pas aujourd'hui. Il n'est pas question, pour l'heure, de tout conter. Il sera plus expédient de faire tenir en une esquisse légère, où la première place reviendra à un de nos

grands ensembles continentaux, quelques-uns des linéaments qui permettraient d'écrire cette histoire, et j'aurais sans doute, malgré une longue accoutumance à ce genre de recherches, différé l'accomplissement d'une telle tâche, si le Comité d'organisation de ce Congrès, par une marque insigne de l'intérêt qu'il voue à ces problèmes, ne m'avait fait le grand honneur de m'inviter à vous en entretenir.

II

Le panneau affiché sous vos yeux, c'est l'original manuscrit de la Carte tectonique de l'Eurasie au huit-millionième. Deux minutes en ont été établies, la première en 1912, la seconde, rendue nécessaire par le rapide progrès des explorations, en 1922. De ces deux approximations successives, c'est naturellement la plus récente qui vous est présentée. Inutile de dire que je me suis efforcé, l'une et l'autre fois, de ne négliger aucune des sources accessibles : le nombre de celles que je n'ai pu atteindre n'est pas grand. Sans aborder un exposé technique qui serait mieux placé dans un texte explicatif, au cas où la carte viendrait à être publiée, je puis faire connaître ici l'essentiel des buts visés et des conventions graphiques adoptées. Apprécier les tectoniques régionales ; figurer ce qu'elles paraissent enfermer d'important ; les raccorder avec prudence ; dégager de ces rapprochements des vues d'ensemble, et de ces vues, ce qui est susceptible de recevoir une forme graphique homogène, c'est-à-dire adaptable à tout le territoire représenté ; trouver cette forme et la réaliser : voilà, très en raccourci, ce que s'est proposé l'auteur de la carte, tant en 1912 qu'en 1922.

La légende compte une trentaine de libellés et de couleurs. Une première division s'imposait, en pays tabulaires et en pays plissés. Aux premiers toute une gamme de teintes claires, traitées à la manière d'une carte géologique ordinaire ; aux derniers les teintes massives, avec quatre maîtresses coupures qui répondent, au sens que nous avons précisé, à l'ensemble des cycles orogéniques précambriens, puis aux cycles calédonien, hercynien et alpin. La vigueur de ces teintes met immédiatement en vedette les territoires notablement plissés. Une carte tectonique doit tendre d'abord à classer les éléments plissés d'après l'âge de leurs mouvements ; ensuite viennent les linéaments structuraux, la tectonique en arrêt. Tel est le parti auquel, après une étude très soignée des divers arrangements graphiques concevables, nous nous sommes arrêtés.

En ce qui concerne le premier point, la perfection serait d'indiquer, en touches superposables, toutes les phases de tous les cycles orogéniques qui ont affecté chaque point du territoire. Il n'en peut être question de nos jours, et même au cas d'une science achevée cela n'irait pas sans de grandes difficultés d'impression et de lecture, sans parler des innombrables simplifications imposées par l'échelle. En pressant le problème nous avons,

bien entendu, usé d'approximation et renoncé à tout figuré présentant ce genre de complexité : nous nous sommes résolu, en fin de compte, à un classement des objets selon l'âge de leur plissement principal ou de leur plissement le plus apparent, en négligeant les phases pour ne retenir que les cycles d'orogénèse. Même limité par ces conventions, le rendu graphique ne va pas sans des réserves que justifient assez l'imperfection de nos connaissances en plus d'une région et la difficulté de mainte appréciation. Ces réserves, la légende de la carte les exprime à sa manière. Un texte explicatif le ferait plus complètement ; nous en marquerons quelques-unes aujourd'hui. La mesure d'imperfection qui subsiste dans cette mise en place ne peut faire de doute, mais il fallait ou ne rien entreprendre ou aller de l'avant, et quelque sentiment que j'en puisse avoir, il m'a paru plus honorable d'affronter les difficultés et les risques inséparables d'une telle tentative.

Tant d'efforts poursuivis au long des années et qui supposent le dépouillement de cartes géologiques, de textes par milliers, de coupes par dizaines de mille, n'auraient pas porté tout leur fruit si je n'avais reçu à diverses reprises les encouragements les plus précieux.

M. Emmanuel DE MARGERIE, à qui je montrai l'original de 1912 peu après son achèvement, voulut bien en faire un examen critique approfondi et plus tard, dans sa conférence de Toronto sur la Carte géologique du monde ⁽¹⁾, en entretenir le Congrès. M. DE MARGERIE, dès lors, ne cessa de songer aux moyens d'assurer la publication de la carte, et quand il devint évident, à dater de 1920, que le progrès des explorations rendait indispensable une mise au point, je lui dus, avec des lumières et des listes d'ouvrages telles qu'en peut dispenser un prince de la bibliographie, la persuasion sans laquelle j'aurais peut-être ajourné un si grand effort.

M. Maurice LUGEON, à qui la tectonique doit tant de tours novateurs et hardis, a bien voulu, à diverses reprises, marquer de l'intérêt à l'œuvre qui est devant vous, et la sympathie de ce maître enthousiaste, accoutumé à embrasser, comme en se jouant, les plus hauts problèmes, m'a soutenu en plus d'un moment.

Le Comité d'organisation de la présente session, dans ses circulaires, a bien voulu attirer votre attention sur la carte et dire l'intérêt que sa publication pourrait présenter : qu'il veuille trouver ici l'expression de ma gratitude la mieux ressentie.

Mais ce n'est pas tout, et peu s'en est fallu qu'un sort aveugle ne compromît, au dernier moment, l'œuvre si longuement mûrie. Il y a peu de jours, à l'heure où me rendant au Congrès, j'allais quitter mon pays,

⁽¹⁾ Emm. de MARGERIE. The Geological Map of the World. *Congrès géol. international, Compte-Rendu de la XII^e session, Canada, 1913*. Ottawa 1914, pp. 173-187.
Voir aussi : Emm. DE MARGERIE. Une nouvelle carte géologique du monde ? *Annales de Géograph.*, XXXI^e année, N^o 170, 15 mars 1922, pp. 109-131.

un accident matériel, sans altérer la teneur scientifique de la carte, en défigura l'aspect au point de la rendre peu propre à être exposée ici. Prévenu, M. Armand RENIER, Secrétaire général du Congrès, intervint avec une promptitude admirable : je lui en garde une parfaite obligation. La restauration de la carte fut faite à Bruxelles du 7 au 10 août, avec des soins infinis, par l'Institut Cartographique Militaire, et il me tarde d'exprimer ce que je dois à M. le Colonel SELIGMANN, Directeur général de cet établissement, qui a bien voulu donner les ordres nécessaires ; à MM. les Officiers attachés à l'Institut, qui ont surveillé une opération délicate entre toutes ; à MM. les membres du personnel civil, qui l'ont exécutée d'une main habituée à toutes les finesses.

III

Qu'en est-il, au long des âges, des destins de l'Asie ? Entrons dans cette histoire qui longtemps encore comptera tant de pages blanches et de points obscurs. Essayons, par les vues qui ont paru l'instant d'avant, de remplir quelques-unes des premières et d'éclairer quelques-uns des seconds ⁽¹⁾.

Voici l'Inde péninsulaire qui, au vrai, n'est pas de l'Eurasie au sens tectonique. Ce vaste môle mis à part, il n'est point encore en Asie de grand massif précambrien qui ait été délimité sur tout son pourtour ou analysé sans reste au point de vue de l'âge des mouvements. En plusieurs points de la Chine, M. Bailey WILLIS a révélé la succession précise des cycles d'orogénèse précambriens : cette clef vaudra, *mutatis mutandis*, pour plus d'une région précambrienne d'Asie. En attendant le moment où nous connaîtrons ces importants phénomènes par surfaces comparables à celles qui ont été débrouillées dans le bouclier baltique et dans la partie méridionale de la Laurentia, bornons-nous à marquer, sans appuyer, quelques traits qui se dégagent de l'ensemble des travaux.

Le massif sibérien, si généralement couvert de tables paléozoïques, a pourtant montré son noyau précambrien tout au nord, dans les bassins de l'Anabara et du Khatanga. Ce massif confine au nord-ouest à l'arc du Taïmyr, récemment dessiné par M. BACKLUND. Cet arc, qui probablement se prolonge dans les îles à direction méridienne reconnues il y a quelques années au nord du cap Tchelioussine, est convexe au sud-est et a des chances d'être poussé dans le même sens, c'est-à-dire vers le massif sibérien ; l'âge de ce plissement est d'ailleurs imprécisé. Au nord-est et au nord, le massif sibérien est bordé par l'arc alpin de Verkhoïansk et par ses prolongements ou annexes à l'ouest des bouches de la

⁽¹⁾ Nous avons donné un certain développement, en quelques-uns des passages qui suivent, à des interprétations que la Carte tectonique de l'Eurasie, présentée à l'occasion de la conférence et exposée pendant toute la durée du Congrès, suggère ou exprime en clair.

Lena et sur le cours inférieur de l'Olenek. Il y a tout lieu de croire que cet arc alpin se relie, hors de l'Asie, aux plissements récents du Spitsberg et à ceux qui ont été reconnus dans l'extrême nord des terres arctiques américaines : Eureka Sound, terres d'Ellesmere, de Grinnell et de Grant. On a ainsi les linéaments d'une *chaîne alpine périarctique*, souvent marquée par du Trias marin plissé : ce géosynclinal arctique est donc bordé, tant du côté de l'Amérique que vers l'Eurasie, par les chaînes qui en sont issues et qui, dans leur disposition actuelle, se tournent le dos un peu comme les deux ailes de la double chaîne méditerranéenne. Ce complexe alpin, dont font peut-être partie, entre l'arc de Verkhoïansk, l'Océan Glacial et la mer de Bering, divers éléments laramiens et andins passés d'Amérique en Asie, a des chances de former une notable partie de la vaste péninsule du nord-est de l'Asie, si imparfaitement connue, de nos jours, qu'on ne peut rien dire de plus. Au sud-est, le massif sibérien lance au-delà de la Lena, dans les contrées de l'Aldan, un éperon considérable que recouvrent du Cambrien et par places des dépôts mésozoïques marins horizontaux. Dans l'extrême sud-est, le Paléozoïque prend des plis à l'approche du cristallin des Stanovoï, et du Trias supérieur marin plissé a été rencontré à l'ouest d'Okhotsk, dans les parages du 140^e méridien.

Complètement levé en Corée, levé ou reconnu par larges surfaces dans le Liao-Toung et la Mandchourie méridionale, exploré par itinéraires ou échantillonné par levés détaillés d'étendue encore restreinte dans la Chine du nord et ailleurs, le vaste môle précambrien, dit massif sinien, révèle peu à peu sa complexité. Il s'en faut que ses limites, dans les directions du nord-ouest, du nord et du nord-est, vers le Grand Khingan ou le Gobi, et vers l'Asie Russe, soient exactement assignables aujourd'hui. Les couvertures paléozoïques, mésozoïques et parfois tertiaires qui subsistent en nombre de régions, soit par paquets d'extension modérée ou par bandes allongées, comme en Corée, en Mandchourie, dans la Chine du nord, soit par larges surfaces comme dans le Chan-Si, le Chen-Si et l'Ordos, s'avèrent de plus en plus comme des objets plissés à diverses époques, et la part du cycle alpin dans ces déformations ne laisse pas d'être considérable.

Si l'horizontalité des tables cambriennes et siluriennes, par larges surfaces, rend suffisamment admissible l'existence d'un massif sibérien plissé aux temps précambriens ; si cette preuve est faite en beaucoup de points du môle sinien, il n'en est pas toujours de même, pour l'heure, des autres massifs précambriens qu'on a supposé exister en Asie, au nord de la Téthys. Personne n'admet plus, après tant de constatations précises faites dans les chaînes jeunes, que le faciès cristallophyllien soit un motif suffisant à attribuer quoi que ce soit au Précambrien : les cycles calédonien, hercynien et alpin ont vu naître, en Asie comme ailleurs, de puissantes séries de schistes cristallins. Il faudrait donc distinguer et on ne le peut encore que de loin en loin. Ce point rappelé, tournons-nous vers le nord.

Les plis des couches de l'Angara, au centre du bouclier sibérien, sont évidemment du cycle alpin ; une partie de l'Altaï Russe est d'âge hercynien. Ces choses écartées, il reste les plis marginaux de l'amphithéâtre et le vaste ensemble d'aspect ancien auquel on a donné le nom de faite primitive. Nous croyons bien faire en laissant tomber l'épithète de primitif, qui préjuge en quelque manière un plissement exclusivement précambrien, et nous parlerons du faite, ou des faites, en dehors de toute acception hydrographique, pour désigner une vaste région à plissements incomplètement débrouillés qui comprend, entre autres choses, l'Alataou de Kouznetsk, le Saïan occidental, le Saïan oriental, la Transbaïkalie et une partie des pays amouriens, le Khangai et les chaînons du Gobi septentrional, le Tannou-Ola, les horsts de la vallée des Lacs et l'Altaï Mongol, tous objets qui, réserve faite des mouvements alpins qui les ont repris sur le tard, offrent dans leurs vieux bâtis des plissements d'âge divers, point partout précisé, et dont les aires ne sauraient être délimitées sans de nombreuses observations nouvelles. Malgré d'excellents commencements, les matériaux actuellement disponibles ne permettent pas de pousser très loin les tentatives de délimitation. Mais les faits connus suffisent à indiquer l'hétérogénéité du vieux bâti, qui comprend par places, et notamment dans le sud-est, des plissements hercyniens ; ailleurs peut-être des plissements calédoniens ; ailleurs des plissements précambriens qui paraissent avoir joué, en plus d'une région, en plus d'un cycle. Le terme de faite s'applique donc à un complexe d'unités tectoniques ; il est provisoirement commode et devra faire place à une nomenclature plus précise dès que l'état de la science le permettra.

D'épaisses séries de sédiments semi-métamorphiques ou franchement recristallisés, associés à des granites et à d'autres roches éruptives, constituent le gros des faites ; il s'y associe, par places, des lambeaux paléozoïques dont l'étendue et les rapports avec le gros sont loin d'être toujours connus.

Un point assuré, pour le moment, c'est l'âge antédévonien d'une bonne partie du terrain cristallin des faites : on sait que la transgression méso-dévonienne, accompagnée par places de lambeaux néodévonien et dinantiens, s'est avancée sur le Tannou-Ola, qu'elle s'est approchée de l'Oubsa-Nor et a peut-être pénétré dans le haut Kobdo, voire dans l'Altaï-Nourou.

Les lambeaux du Tannou-Ola se rattachaient sans doute aux terrains de même âge de la région de Minoussinsk, assez doucement plissés et assez encadrés pour qu'on puisse penser à un plissement de couverture, d'âge vraisemblablement hercynien, qui aurait joué sur un vieux fond antédévonien, prolongation souterraine du faite. On ne saurait dire, en l'état des explorations, si les lambeaux dévonien du Tannou-Ola se relient, vers l'est, au Dévonien des environs d'Ourga et par là à la zone de sédiments détritiques, en partie au moins dévonien, qui s'allonge sur les deux

sédiments normaux et les roches métamorphiques appartiennent, suivant M. KOTOULSKY, à une même formation. Dans la vallée de la Tonoda, affluent de la Grande Patom, des sédiments presque normaux passent vers le sud, selon M. PREOBRAJENSKY, aux terrains métamorphiques du faite, et M. GUERASSIMOV est porté à tenir ces derniers pour siluriens. Ces observations recueillies entre faite et marge semblent donc peu favorables à la notion d'un plissement exclusivement précambrien des faites ; elles tendent à montrer qu'une partie de la marge et une partie du faite forment en grand une seule unité affectée de plissements après le Silurien. Certains conglomérats dont on a tiré argument en faveur de la thèse précambrienne absolue prouvent seulement, en l'état des faites rapportés, que du granite a émergé à distance, quelque part dans l'intérieur de la boucle que dessine cette partie du faite, à une époque imprécisée. Aussi longtemps que ces conglomérats n'ont pas été vus en discordance sur leur substratum d'origine, on ne saurait en faire des conglomérats de base, et la porte reste ouverte à de bien autres interprétations.

Il est évident que si la notion de passages graduels entre faite et marge venait à se confirmer, fût-ce par places seulement, d'importantes parties du premier seraient solidaires de la seconde, en plissements d'un même cycle. S'il s'avérait, de plus, que ces parties du faite fussent antédévonniennes, le cycle en question ne pourrait être que le cycle calédonien. Le gros du plissement des faites, préparé de loin en des cycles précambriens, se serait poursuivi aux temps calédoniens et marqué par une fermeture qui aurait atteint les premières marges et une partie des faites. Cette partie du faite serait ainsi la zone interne, métamorphique, d'une chaîne calédonienne dissymétrique poussée vers le centre du noyau sibérien ; et la marge, rejeux postérieurs réservés, serait la zone externe, à sédiments normaux, de la même chaîne. Les faits connus ne permettent pas, évidemment, d'aller jusque là, ni de soutenir la thèse précambrienne en sa forme absolue.

L'hypothèse calédonienne, appliquée aux plis du Cambro-Silurien marginal, ne saurait être, en l'état du connu, écartée aussi aisément qu'on l'a dit. La limite supérieure de l'âge de ces plissements ne peut guère, il est vrai, être convenablement assignée aujourd'hui, mais il y a la discordance que M. D. MOUCHKETOV a signalée sur la rive gauche de la Lena, en face de l'embouchure de la Grande Patom, entre du Silurien et du Cambrien. Ce fait est le seul qui indique avec quelque précision, pour le moment, un mouvement appartenant au cycle calédonien. La limite d'âge supérieure du granite de la Krouglaïa, près Nijne-Oudinsk, granite qui traverse et métamorphise des terrains plissés attribués au Paléozoïque inférieur, n'est pas connue. En attendant des observations plus nombreuses et plus décisives en quelque sens que ce soit, l'hypothèse calédonienne demeure plausible, sans plus.

Dans la région sud-est des faites, les dernières années ont apporté à plus d'une reprise la découverte de schistes cristallins d'âge dévonien et d'âge dinantien. M. ZVEREV a signalé dans le bassin du fleuve Gazimour, au nord de Nertchinskii Zavod, des schistes cristallins qui résultent du métamorphisme d'un Néodévonien et d'un Dinantien fossilifères. M. KAZANSKY a rencontré dans les bassins du Never et de l'Oldoï, affluents de gauche de l'Amour entre le 123^e et le 124^e, un Dévonien complet et du Dinantien traversés par du granite et partiellement transformés en schistes cristallins variés. Le même auteur avait signalé antérieurement, dans le bassin de l'Omoutnaïa, à l'ouest du 123^e, de l'Ordovicien fossilifère. M. MAKEROV a trouvé dans les bassins de l'Oldoï et de l'Oldokon des schistes métamorphiques d'âge dévonien. Ces trouvailles viennent à l'appui des vues de M. DE LAUNAY, qui a si nettement repoussé la notion de l'âge exclusivement précambrien des faites. Dans le territoire exploré par M. KAZANSKY, un granite du cycle alpin a traversé les couches de l'Angara. Le métamorphisme qui a développé le faciès cristallophyllien aux dépens du Dévonien et du Dinantien, au long de la zone occupée par ces terrains, n'en est pas moins, selon toute probabilité, essentiellement hercynien, et il est clair qu'il ne saurait être plus ancien. Mais aussi longtemps que les rapports de ces schistes cristallins avec ceux des cycles antérieurs ne sont pas mieux connus, il serait prématuré de découper dans le faite des aires ou des zones correspondant aux plissements des divers cycles.

En l'état, il y a quatre points qu'on peut tenir pour suffisamment attestés : le plissement d'une partie des faites est antérieur au Cambrien ; un certain gros du plissement est antérieur au Dévonien moyen, sans plus de précision ; le plissement marginal est postérieur à des niveaux élevés du Silurien ; le plissement de certaines parties des faites, dans le sud-est notamment, est d'âge hercynien.

Si l'on me demandait quelle hypothèse de travail convient le mieux, provisoirement, à ce vaste problème des faites, je dirais que c'est l'hypothèse d'un régime principalement géosynclinal, à plissements joués en plusieurs cycles, dont les premiers sont d'âge précambrien et pour une part au moins algonkiens ; que certaines parties du géosynclinal ont été obturées par des plis avant le Cambrien ; que d'autres parties se sont conservées ou se sont réouvertes en un cycle ou en des cycles postérieurs, dont le dernier est le cycle hercynien, au cours duquel le vieux bâti a fini de se constituer. Par sa richesse en tours opératoires et par sa souplesse à peu près illimitée, cette hypothèse semble être à la mesure des quelques certitudes acquises et des doutes qu'il est permis d'entretenir en un problème où plusieurs des éléments essentiels à l'appréciation font défaut. Je ne puis songer à développer ici les possibilités qu'elle offre, ni à esquisser en ce moment l'élimination de celles qui ne peuvent être reçues.

Je m'occuperai dans peu d'instant, en la mesure qui convient, des déformations éprouvées par le faite et par la marge pendant le cycle alpin.

Plus au sud, des fragments antédévonien, moins considérables que ceux des grands faîtes mongols et sibériens, sont englobés en nombre inconnu, avec des limites précisées seulement par places, dans les plissements essentiellement hercyniens du Kouen-Lun. Il est évident que ces vieux fragments ramenés au jour, avec les plis hercyniens qu'ils supportent, par des plissements alpins, témoignent de cycles anté-hercyniens : c'est affaire à l'avenir d'y déceler ce qui peut être calédonien ou précambrien. Le grand massif ancien qu'on a voulu installer, d'un seul tenant, à l'intérieur du Tibet, n'est pas confirmé par les travaux récents, et quand aux aires à plis précambriens qu'on a pensé, à diverses reprises, déceler dans le sud de la Chine, les sources les plus modernes laissent surtout entrevoir ce qui reste à faire. Dans les montagnes à l'est de Mandalay, les belles explorations de M. LA TOUCHE révèlent une discordance entre du Gothlandien et de l'Ordovicien, trace appréciable de plissements calédoniens englobés dans des plis plus récents.

Que les plissements calédoniens aient eu, en Asie, une importance plus grande que ne l'indiquent pour l'heure les témoignages les plus directs, c'est ce que montre leur action, d'une part, sur les aires continentales précambriennes ; de l'autre, dans des géosynclinaux qui ne devaient se fermer qu'en des cycles postérieurs. L'exhaussement que marquent, sur la plateforme sibérienne, les gypses ordoviciens ; l'émersion que dénoncent, dans une grande partie de la couverture du massif sinien, les dolomies terminales de l'Ordovicien et l'absence du Gothlandien, qui semble si générale dans la Chine du Nord, en Mandchourie, en Corée, indiquent des mouvements de grand rayon et de composante ascendante qu'il n'y a nul motif d'attribuer à de l'épirogenèse : ce sont des *plis de fond* très aplatis que l'orogénèse calédonienne a incités dans les bâtis précambriens et en conséquence dans leur couverture, comme l'orogénèse alpine l'a fait plus tard en toute espèce de fond à vieux plis. Pour le massif sinien, et dans les mêmes régions, il y a en outre des plis de fond également très aplatis, déclenchés par l'orogénèse hercynienne, car le Dévonien et le Dinantien manquent à peu près dans les mêmes conditions que le Gothlandien. Les répercussions dans la Téthys ne font pas défaut : au Spiti, il y a discordance entre l'Ordovicien et le Cambrien ; dans la Salt Range, la grande lacune qui sépare, avec discordance, le Cambrien des argiles à blocs du Carbonifère résulte probablement, comme la lacune des pays siniens, de l'intervention de plissements calédoniens puis de plissements hercyniens ; il est d'ailleurs impossible qu'un des deux cycles n'ait pas joué.

Que les plis marginaux de l'amphithéâtre, repérés ou suivis du coude de la Lena, près du 118^e méridien, vers Irkoutsk, puis le long de l'Ienisseï

et au travers du cours inférieur des trois Toungouska, soient vraiment calédoniens, on n'aura, dès lors, aucune difficulté à les rattacher vers l'ouest, sous la Nouvelle-Zemble hercynienne, aux Calédonides du Spitzberg et du Groenland, comme à celles de la Scandinavie et des Iles Britanniques ; un géosynclinal cambrien et silurien aurait sinué entre le massif finno-scandinave et le bouclier sibérien, et aurait été comblé de plis ; il aurait été le précurseur du géosynclinal hercynien d'où sont sortis l'Oural, le massif de la Steppe Kirghize et la plus grande partie de l'Altaï Russe ; il aurait été, en outre, l'ancêtre d'une partie de cette zone déprimée qui, pendant le cycle alpin, s'allonge à peu près suivant le méridien, de la mer de Kara à la mer d'Oman, par le bassin de l'Ob, le Tourgaï, le Touran et l'Iran ; dépression qui croisait celle de la Téthys, et qui est traversée, de nos jours, par la double guirlande des arcs iraniens, nettement incurvée à son passage par suite de la moindre résistance que rencontreraient ici les plis alpins ; qui survit sous nos yeux, par ses deux extrémités, d'une part dans le détroit de Mozambique ; de l'autre, dans les plaines touraniennes, dans l'immense bassin d'accumulation tertiaire et moderne de l'Ob, enfin dans la mer de Kara, encadrée par la Nouvelle-Zemble et la péninsule de Taïmyr.

Qu'on évoque maintenant, par dessus la courbure du monde, les vastes entours de l'Océan Atlantique : après les Calédonides arctiques, scandinaves et britanniques, ce sont les Calédonides de la Chaîne Taconique, et celles du Piedmont, et celles du Sahara, et celles, moins attestées par la paléontologie, mais vraisemblables encore, du Dahomey, puis des lisières orientales de l'Amérique du Sud ; et celles qu'on peut bien admettre, je pense, dans l'île Laurie des Orcades du Sud, où du Silurien plissé, à direction nord-ouest ou nord-nord-ouest, passe au travers de l'arc ando-alpin des Antilles australes — dirigé ici de l'ouest à l'est — dans des conditions qui suggèrent l'image d'un fragment calédonien englobé par cet arc et ramené au jour par des plissements du cycle alpin. Voilà donc, du haut nord au 61^e degré de latitude australe, la longueur admissible de la principale branche de la chaîne calédonienne ; le géosynclinal où elle est née embrassait d'immenses étendues ; sa direction, comme celle des plis qui en sont provenus à la fin de l'Ordovicien, à la fin du Gothlandien et en quelques répliques tardives au Dévonien, est voisine du méridien : et l'on voit, maintenant, que ce géosynclinal fut un premier Atlantique, précurseur du nôtre ; que l'individuation du double bloc américain, d'une part, et des vieilles terres de l'Ancien Monde, de l'autre, recule immensément dans le passé, jusqu'au Paléozoïque inférieur ; que la soudure entre ces continents s'est refaite, temporairement, par le jeu même des plissements calédoniens ; si bien refaite, du reste, que des chaînes hercyniennes et peut-être les chaînes alpines ont pu, d'Europe ou d'Afrique en Amérique, se poser d'est en ouest au travers du vieil édifice calédonien ; et que *notre*

Atlantique, formé de proche en proche, en des temps récents, n'est qu'un second Atlantique, comparable en ses origines au géosynclinal calédonien. Le retour de ces circonstances, avec un tel croisement des plans, après des laps de temps énormes et à cette échelle, soulève des problèmes que nous ne pourrions manquer d'aborder.

Auprès de cette maîtresse branche, les Calédonides problématiques de Mongolie et de Sibérie ne seraient point une très grande affaire : on voit cependant qu'elles en reproduiraient jusqu'à un certain point la disposition et l'histoire. Quoi qu'il en soit, les destins de la zone faible de Sibérie Occidentale et ceux de l'Atlantique montrent plus qu'un simple parallélisme. Le premier Atlantique existait, au moins par larges et longues ébauches, au Cambrien ; le fléchissement de la dépression d'entre Fennoscandie et Sibérie s'annonce tout au nord par l'Ordovicien du Yougorskii Char, le Gothlandien de l'île de Vaigatch et du Timan ; d'autres pointements siluriens sont connus loin au sud dans les monts d'entre Tchou et Ili ainsi qu'aux environs du lac Balkach.

Au Dévonien inférieur, la dépression méridienne est déjà le puissant géosynclinal d'où sortira plus tard l'Oural, et des conditions analogues se précisent par places au même moment dans le massif Kirghize, dans l'Altaï Russe et dans le Tien-Chan ; au Dévonien moyen, elles prévalent dans ces régions et de là comme de la Téthys, la transgression de cet âge se répand sur les vieux faîtes mongols et sibériens, sur les torsos antédévoniens du Kouen-Lun. Au temps des paroxysmes hercyniens, la dépression du Touran à la Nouvelle Zemble est comblée par des plis qui, dans la première de ces régions, courent au travers du sillon, un peu comme les plis paléozoïques d'Europe en Amérique.

Qu'il existe dans les chaînes hercyniennes d'Asie des enclaves calédoniennes analogues à celles qu'on trouve dans l'Ardenne, dans le massif schisteux rhénan, dans la Forêt de Thuringe et dans la Lysa Gora, c'est ce qu'on peut gager avec une extrême probabilité. De l'Ardenne à la Vistule, c'est évidemment la résistance, point trop lointaine, du bord méridional caché de la Fennoscandie, qui a appelé à l'existence, en provoquant l'effort tangentiel, cette branche est-ouest des Calédonides.

IV

Il faut faire remonter au plissement hercynien l'Oural, le massif de la Steppe Kirghize, une partie de l'Altaï Russe, le Tarbagataï, l'Alataou dzoungare, le Tien-Chan et l'essentiel du Kouen-Lun avec ses branches : arc de Yarkend ⁽¹⁾, Altyn-Tag et Nan-Chan avec leurs arrière-chaînes,

⁽¹⁾ Ce terme ayant été pris dans des sens différents et qui parfois changent au cours du même ouvrage, précisons. L'arc de Yarkend, c'est le segment de vieux terrains, concave au nord-est, qui du 74° au 82° méridien à peu près (transversale Keriya-

Tsin-ling-Chan. Les diverses branches du Kouen-Lun contiennent des fragments de bâtis plissés antédévoniens ramenés au jour. Des mouvements précurseurs jouaient en beaucoup d'endroits pendant le Dévonien. Une phase très importante du plissement se place, pour le Kouen-Lun et le Tien-Chan, à la fin du Dévonien et aux premiers temps dinantiens ; un second paroxysme, qui répond sans doute à la phase intense la plus fréquente en pays hercyniens, affecte ces deux chaînes au Carbonifère supérieur. Des répliques se produisent par places au Permien. Le Tsin-ling-Chan, entre le 104° et le 106° méridien, a une structure typiquement hercynienne, avec enclaves antédévoniennes. En un point du Ngan-Hoeï, du Permien repose en discordance sur du Carbonifère supérieur : le bâti hercynien atteint les marges du Pacifique. De là aux contrées de l'Europe Occidentale, il s'allonge sur plus de 11000 kilomètres à l'alignement desquels se placent les 3500 kilomètres du segment américain.

Suess a suivi les plis hercyniens d'Asie en Europe et on ne saurait beaucoup ajouter au tableau qu'il a tracé des branches occidentales. Le massif finno-scandinave forme le fond de presque toute la plateforme russe ; une ligne tirée de la Scanie aux abords d'Astrakhan marque probablement son bord méridional et la boutonnière cristalline de Pavlovsk sur le Don (environs du 40° méridien et du 50° parallèle) a des chances de lui appartenir ; son bord oriental doit peu différer d'une ligne qui de l'entrée de la Mer Blanche longe le bord du Timan et de l'Oural et gagne l'avant des Mougodjars. Un gros promontoire tourné au sud-est semble donc le terminer vers les steppes caspiennes du nord. Le périmètre ainsi jalonné peut d'ailleurs enfermer des éléments calédoniens. Cet éperon divise le large faisceau hercynien venu de l'Altaï et de l'Asie centrale. Les branches septentrionales se recourbent, en décrivant plusieurs boucles visibles dans les massifs des steppes ou cachées sous des dépôts récents, vers le nord pour gagner l'Oural et constituer, sans doute, une partie notable du fond de la dépression de l'Ob. Tout à l'est, les plis de l'Altaï Russe sont arrêtés par l'Alataou de Kouznetsk et par l'Altaï Mongol, ces deux saillants que le gros du faite plus ancien présente à l'ouest ; les plis hercyniens doivent s'adapter, par des inflexions variées, à ce double obstacle et au rentrant qui les sépare. Le gros des branches hercyniennes méridionales, venu de l'Asie centrale, s'allonge jusqu'à l'extrémité orientale du massif précambrien de la Russie méridionale, qui amène un nouveau partage en deux faisceaux d'inégale importance : le faisceau du Donetz, qui se coule et se serre entre le massif podolien au sud et le massif fennoscandien au nord, en marquant quelque faiblesse

Kyzyl Daban), borde les plaines du Turkestan chinois et supporte, au sud-ouest et au sud, les plissements alpins à terrains carbonifères, permien et mésozoïques de la Téthys, qui longent les lisières nord-est du Moustag-ata et du Karakorum. Dans cette acception, l'arc de Yarkend est identique au Kouen-Lun occidental de plusieurs auteurs.

du jeu hercynien, suivi de jeux alpins ; et le grand faisceau varisque-armoricain qui, de la Dobrogea au Finistère et à l'Irlande, est trop connu pour que nous nous y arrêtions. Il donne naissance, comme on sait, à l'important rameau qui, par la boucle des Asturies et la Meseta ibérique, gagne la Meseta marocaine et les Altaïdes sahariennes. C'est ainsi que se déploient, en rameaux de plus en plus divergents, les branches issues du tronc hercynien commun de l'Asie centrale (Fig. 8).

De Minoussinsk à la mer d'Okhotsk à travers la Mongolie et les pays amouriens dominant, dans les dépôts dévoniens qu'accompagne à l'ouest un peu de Culm à plantes, des plissements hercyniens qui ondulent sur le vieux faite et d'autres plis hercyniens plus rudement pincés dans les jeux du Cristallin, voire même métamorphisés et percés par du granite.

La phase des plissements hercyniens qui, à la fin du Dévonien et au commencement du Dinantien, a puissamment joué dans le Kouen-Lun et le Tien-Chan s'est fait sentir, en plis de fond de grand rayon, sur les vieilles aires, avec un effet vertical ordinairement ascendant : dans la partie ouest et nord-ouest des faites, les grès marins mésodévonien sont surmontés d'un Dévonien supérieur gypseux et salifère, que recouvre du Dinantien à plantes. C'est le même jeu qui a permis à la condition exondée de se maintenir en Chine septentrionale, en Mandchourie et en Corée au Dévonien et au Dinantien ; la mer revient sur ces pays en des temps anthracolithiques postérieurs.

Au sud du Yang-tse-kiang, le Dévonien et le Dinantien marins reparaissent : la série paléozoïque, en général plus complète, est aussi plus plissée ; de grands fragments anciens gisent sous elle en plus d'une région où la couverture primaire s'éloigne moins de la condition tabulaire : il reste immensément à faire pour débrouiller ces pays et apprécier le style des plissements d'âge paléozoïque, inégalement vigoureux, qui y ont joué.

Quand au géosynclinal himalayen, il n'est pas sans présenter, notamment à la base des *Productus shales*, des effets verticaux dus à des influences hercyniennes, et nous avons dit ce qui en est de la grande lacune constatée dans la Salt Range.

V

Du Permien ou du Trias à nos jours, le cycle orogénique alpin se déroule avec une immense variété de phénomènes. La mouvance des objets s'y voit mieux, à l'ordinaire, que dans les cycles précédents ; la simplicité relative des événements hercyniens et calédoniens est d'ailleurs une illusion qui tient au raccourci plus condensé dans lequel nous les voyons. Le temps n'est plus où toute l'histoire des plissements alpins semblait tenir dans un bref moment des temps tertiaires. La tectonique en mouvement, celle qui restitue les ébauches des chaînes ; qui discerne dans les divers paroxysmes orogéniques, au Jurassique, au Crétacé, au Tertiaire, des

phases simplement éminentes entre d'autres phases moins marquées ; qui n'analyse que pour rendre chaque épisode au courant d'événements qui l'engendre, et dont il se distingue sans se détacher ; qui reconnaît dans le discontinu, tantôt un artifice de dissection, tantôt une réalité qu'il ne faut pas trop séparer du jeu continu qui l'enveloppe : cette tectonique en mouvement, dis-je, liquide peu à peu ce que des vues moins souples impliquent de trop arrêté. Tel paroxysme, qui est ici la grande affaire, tombe ailleurs au rang de plissement précurseur ou de réplique tardive, sans que les déformations cessent obligatoirement d'être solidaires dans l'ensemble ; dans telle chaîne, tel arc, telle nappe, tel pli, les parties composantes présentent des différences de phase, et dans chaque phase, ce n'est pas au même moment que le jeu atteint sa plus grande vigueur, suivant le point considéré dans chaque objet. C'est que la matière résiste à la déformation ; c'est que toute résistance veut du temps. Ce qui est vrai des phases l'est aussi des cycles orogéniques qui sont, tout compte fait, de maîtresses phases.

Si l'on excepte quelques régions bien étudiées mais restreintes, on n'a que des renseignements clairsemés sur les phases du cycle alpin pendant le Trias, le Jurassique inférieur et le Jurassique moyen. Dans une grande partie des Andes, un important paroxysme joue, avec des différences de phase distribuées par régions, vers le déclin des temps jurassiques ou un peu plus tard ; singulièrement, il se place un peu avant le Portlandien pour la région où on connaît le mieux cette grande affaire, c'est-à-dire dans la moitié occidentale des cordillères de l'ouest des Etats-Unis ; de grosses répliques suivent pendant le Crétacé en divers segments. On voit donc se découper dans le cycle alpin une longue phase si importante par ses effets les plus grands, qu'on peut sans excès parler d'un *sous-cycle andin*, avec ses plissements précurseurs qui durent au moins depuis le commencement des temps alpins, ses paroxysmes et ses plissements attardés pendant l'Eocrétacé. Les séries qui devaient, dans l'ouest des Etats-Unis, s'enrouler en plis andins se déposaient depuis des temps paléozoïques, et de petites lacunes, habituellement exemptes de discordances considérables, y marquent le contre-coup affaibli de plissements calédoniens et hercyniens dont le siège principal était évidemment dans la Taconic Range, le Piedmont, et plus tard dans les Appalaches. Le plissement proprement andin a donc remué d'ordinaire, en ces parages, des terrains qui n'avaient pas été notablement plissés et qui, une fois pris le gros des plis, durent s'accommoder de la mise en place de batholites immenses. Ces plissements sont restés extérieurs et marginaux par rapport à la Laurentia. Le plissement laramien, au contraire, mord dans le bord occidental de ce vieux bouclier. Les *swells* des Montagnes Rocheuses, ces larges anticlinaux au cœur desquels apparaît, largement gauchi et parfois compliqué de charriages cassants, le fond précambrien de la Laurentia même,

sont le résultat d'un effort qui, dans le temps où le Crétacé passait au Tertiaire, a enrichi le bâti plissé d'un nouvel essaim de chaînes plus orientales, mais aux dépens, cette fois, d'un très vieux môle et de sa couverture discordante. La faible plasticité de cet antique fond plissé empêche la naissance d'un style aussi pressé que celui des plis andins : de là cette large houle qui prévaut : c'est bien la lourde et puissante architecture d'un pays presque figé que seul un immense effort de plissement a pu ranimer sur le tard : c'est un plissement de fond. Les plissements proprement alpins, d'âge tertiaire, n'ont guère créé de l'absolument nouveau hors des Coast Ranges, en bordure du Pacifique ; mais ils ont fait naître, en retravaillant par grands rayons de courbure le bâti andin depuis longtemps figé, lui aussi, une nouvelle génération de plis de fond, tels que les socles anciens des Coast Ranges, les sillons du golfe de Californie, du Sacramento, du Puget Trough, du Cook Inlet, les bourrelets anticlinaux puissants de la Basse Californie, de la Sierra Nevada et de la Colombie Britannique, du Mont-Saint-Elie, de la presqu'île de Kenai et de l'île de Kodiak, de la péninsule d'Alaska et d'une grande partie des Alaskides, et les larges gauchissements de la Cascade Range, et les ondulations des laves du Columbia Plateau, et le fléchissement synclinal du Great Basin avec ses ondes secondaires, et l'infinie complication des fractures, souvent disposées en long, qui se subordonnent à cette nouvelle houle trop figée pour plier sans casser. Voilà tout ce qui, prolongé dans le même style par les répliques du Tertiaire récent et du Quaternaire, a créé l'individuation orographique moderne de ces vieilles choses, si différente de l'ancien plan aujourd'hui morcelé. Relevons encore, très loin, des rejeux à grands rayons dans les Rockies, avec effets morphologiques. Ces choses vues, retournons-nous vers l'Eurasie.

Nous avons dit récemment, pour l'Europe, combien de faits anciennement connus s'enchaînent et s'éclairent, dès qu'on y voit des plissements, infiniment variés dans leur forme et dans leur intensité, qui travaillent en solidarité avec le lointain paroxysme andin : dans les géosynclinaux, jeux de sillons étroits qui s'approfondissent jusqu'à loger, au Tithonique, des dépôts abyssaux, cependant que surgissent, tout auprès, des guirlandes insulaires bordées de récifs coralliens et entourées, plus au large, d'une ceinture de vases coralliennes ; dans les géosynclinaux et ailleurs, plissements dits cimmériens de la Crimée et du sud-est de l'Europe ; ailleurs encore, plissements de couverture étroits, comme ceux qui commencent à jouer dans les bordures du Harz, ou plus larges comme ceux qui se dessinent dans le Boulonnais, ou plis qui en restent aux très grands rayons comme il arrive pour l'aire des *Purbeck beds* étendue du sud de l'Angleterre au Jura, à travers une grande partie de la France, sans qu'il y ait lieu, en tout cela, d'invoquer autre chose que des mouvements orogéniques. A vrai dire ces plissements se produisent, en Europe, au Portlandien ou au Valan-

ginien, et à d'autres moments encore : on pourrait donc, à première vue, les croire sans rapport avec le paroxysme andin, dans la mesure où il se place avant le Portlandien. Mais pensons à la rigidité imparfaite de tous les milieux qui interviennent en tectonique. Aucun de ces milieux ne permet, à grande distance, la transmission rigide et instantanée d'une poussée : il y a simplement, dans le fond et le tréfonds continental, des déformations semi-plastiques ou plastiques qui se distribuent par volumes, qui s'influencent les uns les autres par contiguité et par continuité et qui toutes ensemble travaillent en un jeu synergique. La surface s'adapte comme elle peut à tout cela et c'est ce que nous appelons des plis. Il n'y a pas la moindre raison pour que les épisodes que l'hétérogénéité des hauts déclenche dans ce flux soient synchroniques autrement qu'en grand, et en général, ils doivent différer quelque peu par l'âge. Dans des cas particuliers et pour de petites distances, il peut être question de déformations synchroniques, et encore n'est-ce qu'à peu près vrai entre certaines limites : le peu de sensibilité de l'échelle stratigraphique au regard des phénomènes tectoniques les plus délicats noie les petites différences dans l'illusion du synchronisme parfait. Au surplus, nous voyons ces petits effets européens suivre le grand plissement américain : la rencontre est bonne. La synergie des déformations s'explique d'autant mieux qu'en ces temps l'Europe et l'Amérique du Nord formaient une seule masse.

Des deux faces que l'Eurasie tourne vers l'Amérique, l'une, l'Europe, a été notablement affectée par les jeux andins : il n'est donc pas incroyable que l'autre face, l'Extrême-Orient, l'ait été jusqu'à un certain point. De fait le bâti andin, qui existe dans la péninsule d'Alaska et sans doute aussi dans le cœur de l'arc aléoutien, n'est pas particulièrement dénué de solidarité avec l'Asie orientale. Au Japon, des couches à plantes ont été signalées à divers niveaux du Jurassique, et d'autres couches à plantes constituent la série éocrétaée de Ryôseki. On verra dans les intercalations marines de ce Jurassique l'indice de mouvements alternés, avec changement de signe ; la condition haute, plus constamment affirmée à l'Eocrétaée, sera tenue pour la marque d'une phase andine assez fortement jouée ou de ses plus grosses répliques attardées, sans qu'il soit actuellement possible, en tous ces mouvements, de déceler autre chose que leur effet vertical.

Des détroits malais à la Corée, un large pan des terres continentales d'Extrême-Asie est affecté de plissements et de mises en place batholitiques dont on sait seulement qu'ils sont, les uns et les autres, postérieurs à divers niveaux du Mésozoïque ancien et notamment du Jurassique. Le *terminus ad quem* de ces événements n'ayant pu, jusqu'à présent, être défini en aucun point, il faut se contenter, pour l'heure, de les rattacher au cycle alpin en général ; l'idée d'une phase andine, jurassique ou crétaée, se présente très naturellement à l'esprit sans que les jeux

tertiaires soient exclus. Il ne convient pas d'aller au-delà de cette position du problème chronologique ; voyons plutôt les témoignages.

Dans la péninsule de Malacca, de vastes batholites granitiques ont métamorphisé des séries continentales d'âge mésozoïque inférieur qu'on a rapprochées d'horizons élevés des Gondwanas. De moindres masses granitiques où l'on pense avoir reconnu les mêmes relations ont été signalées au Siam. Dans l'Indochine française, l'admirable synthèse de M. JACOB a révélé, tout récemment, d'immenses nappes charriées qui intéressent tous les terrains jusqu'au Lias ⁽¹⁾ ; poussées au sud-ouest, elles ont couvert tout le Tonkin et empiété sur le nord de l'Annam. Des rhyolites mésozoïques ont participé aux mouvements ; des porphyrites soulignent fréquemment les contacts importants. Comme l'amplitude connue de ces nappes approche 300 kilomètres, on ne saurait douter de leur prolongation en de vastes régions de la Chine du sud et du sud-ouest, où elles doivent jouer un rôle des plus importants.

Un peu partout en Chine, au sud comme au nord, des lambeaux permians, triasiques ou jurassiques, grands ou petits, ont pris part à des plissements qu'il faut bien rattacher au cycle alpin. Les mouvements de la bordure sud du Tsin-ling-cha qu'on a qualifiés de permo-mésozoïques peuvent prendre place ici : ils ont affecté la partie inférieure des Angaras qui sont plissés, traversés par du granite et surmontés en discordance par d'autres Angaras réputés jurassiques, qui du reste ont rejoué après coup, de sorte que là encore, on ne peut assigner à l'ensemble du plissement une limite d'âge vers le haut.

En Corée, nous avons pour guides les nombreux travaux de nos confrères japonais, qui ont trouvé leur expression graphique à peu près définitive dans un monument splendide, la *Geologic Map of Chosen* au millionième. On ne peut douter que les quatre grands cycles aient joué en Corée, et je passe les plissements précambriens puissamment granitisés. Les mouvements calédoniens et hercyniens ont joué comme dans le reste du massif sinien, nous l'avons dit, par de très larges plis de fond qui ont maintenu la condition émergée du Gothlandien au Dinantien ; de tels phénomènes ne vont pas sans que les couches présentent par places des inclinaisons plus marquées. Au surplus, les plis serrés ne manquent pas. Les couvertures paléozoïques qui ondulent par grands lambeaux dans le P'yong-an-do méridional et dans le Hoang-haï-do, et ailleurs en témoins de moindre étendue, doivent une partie de cette allure à des plissements paléozoïques, et nommément hercyniens. Dans le sud du Hoang-haï-do, des Angaras recouvrent transgressivement des plis arasés qui comprennent de l'Ordovicien et des terrains carbonifères ou permians. Les Angaras

⁽¹⁾ Charles JACOB. Etudes géologiques dans le Nord-Annam et le Tonkin. *Bull. du Service géol. de l'Indochine*, vol. X, fasc. 1, Hanoi-Haiphong, 1921.

des environs de P'yong-yang, eux-mêmes bousculés par des jeux alpins, passent en discordance sur le Précambrien et sur les niveaux du Paléozoïque inférieur ; il en va de même pour les Angaras du bassin qui s'allonge au sud-est de Tchinnampo.

Le sud-est de la Corée, dans les deux Kyong-sang, présente un développement extraordinaire d'Angaras jurassiques largement plissés, traversés par des batholites granitiques et accompagnés, comme au Tonkin, par de grandes masses de porphyres et surtout de porphyrites. Il y a eu ici d'importants mouvements alpins, peut-être andins, et la réapparition d'un groupement très comparable à celui qui distingue les nappes du nord-est de l'Indochine est digne de remarque. Dans le sud et le sud-est de la Corée tout s'aligne au nord-est un peu nord : une large zone de gneiss borde à l'ouest le Jurassique des Kyong-sang ; au-delà viennent les alignements jurassiques étroits du Tcholla-do septentrional, et en direction les lambeaux paléozoïques du sud du Kang-ouen-do largement percés par du granite ; plus à l'ouest une autre zone de gneiss que bordent plus loin, dans les deux Tch'oung-Tch'ong, de nouveaux alignements jurassiques si étroits qu'on ne peut s'empêcher de penser à des cicatrices très pincées ou à des synclinaux fort impliqués dans le cristallin. En sorte que tout ce qui s'étend en deçà, vers le sud-est, jusqu'au détroit de Corée, a notablement pâti du plissement de fond alpin. Ce qui est au-delà, c'est-à-dire la Corée centrale et septentrionale, est un pays pareillement constitué dans son fond, affecté comme toute l'Eurasie par les jeux alpins, mais moins intensément que les pays du sud-est coréen : c'est un avant-pays relatif. Que les plus grands de ces mouvements alpins, venus du sud-est, s'arrêtent à la ligne des Tch'oung-Tch'ong, ou à celle du Tcholla, ou dans les Kyong-sang est une question de détail que nous pouvons passer.

Des granites ont percé les couvertures paléozoïques du P'yong-an-do et du Hoang-haï-do. Les granites alpins peuvent, par places ou par grandes régions, n'avoir touché que du Précambrien, et l'on comprend quelles réserves s'imposent pour un temps encore, en des régions voisines moins connues, Mandchourie et Sikhota-Alin, au sujet de l'âge d'une partie des granites. Il n'est d'ailleurs pas douteux que le fond précambrien y domine par larges surfaces comme en Corée. On pressent aussi combien les dislocations alpines qui ont affecté, avec des différences de degré, toute la Chine et notamment la Chine du sud encadrée aux deux bouts par le Tonkin et la Corée, ont des chances de souvent ressembler à ce que montrent ces deux derniers pays, et quelle importance grandissante prennent tous ces plissements et ces charriages faits pour ainsi dire à sec, sans géosynclinal, et néanmoins granitisés.

Les lambeaux de Trias marin des environs de Vladivostok, de l'Oussouri et des rivages de la mer d'Okhotsk en face des îles Chantar témoignent de mouvements alpins dont l'âge ne peut encore être exactement limité vers le haut.

Les déformations andines ne se sont pas bornées à la face atlantique et à la face pacifique de l'Ancien Monde : l'Eurasie entière en a été délicatement pétrée. La portion médiane du continent n'a pas manqué de réagir en de nombreux points. Dans la Salt Range, de l'Eocrétacé recouvre transgressivement du Jurassique moyen : un géanticlinal partiel de la Téthys a joué vers le haut. Les *Spiti shales* de l'Himalaya, qui marquent entre des dépôts néritiques du Jurassique moyen et les grès de Giumal éocrétacés, une phase d'approfondissement d'un des maîtres sillons de la Téthys, au Jurassique supérieur et aux premiers temps éocrétacés, montrent le jeu inverse et il n'en est rien, en tout cela, que du plissement : des cordillères montent et des sillons plongent. La stratigraphie ne révèle que l'aspect vertical de ces mouvements ; la tectonique y ajoute l'effort horizontal sans lequel rien de tout cela n'arriverait. L'analogie dynamique avec les embryons arqués des Alpes, dans le même temps, est frappante. La large dépression des bouches de l'Ob au Touran prenait des déformations de grand rayon. Le Volgien supérieur et le Valanginien ont rempli, le long de la Lena entre Iakoutsk et l'Océan Glacial, un large sillon incurvé qui n'est autre que l'avant-fosse de l'arc de Verkhoïansk : le jeu de cette cordillère et de cette avant-fosse est donc manifeste dès ce temps. Cela exigeait quelque exaltation du centre du massif sibérien que la mer devait contourner au nord pour pénétrer encore, vers le sud, dans la dépression de l'Ob où elle laisse des témoins d'âge volgien aux environs d'Obdorsk et d'âge valanginien jusque près du 62^e parallèle.

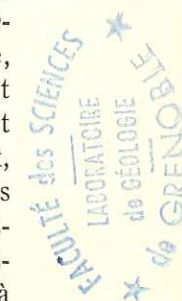
Passons aux plissements laramiens, cette grande préface américaine aux mouvements antélutéliens si répandus de par le monde, en Eurasie notamment. Le plissement des Montagnes Rocheuses, joué pendant le Danien et probablement encore dans les premiers temps éonummulitiques, a précédé quelque peu le gros des mouvements antélutéliens : il y a donc, entre ces deux affaires, le même genre de synergie qu'entre les paroxysmes andins et les déformations andines de l'Eurasie ; cela se voit encore au fait que le tonnage des vraies Andes comme des vraies Laramides l'emporte notablement sur celui des autres jeux andins ou antélutéliens. L'exondation marquée qui a prévalu à l'Eonummulitique dans une si grande partie des chaînes alpines, et singulièrement dans les Alpes, apparaît donc dans un jour nouveau : il y a synergie avec la plus grande des affaires qui ouvre la période ; il y a retard de déformation à l'égard de la même affaire : il y a, comme aux temps andins mais avec plus de décision et d'énergie, au moins dans les Alpes, recrudescence de l'effort tangentiel dans les sillons et les cordillères déjà mieux qu'embryonnaires ; il y a exaltation de l'ensemble et la mer maestrichtienne est refoulée au loin ; quand ce petit paroxysme, précurseur de bien autres jeux, vient à relâcher son effort horizontal, tout redescend et la mer avance : les temps lutéliens sont là. Et si cet effort a montré, dans les Alpes, plus

de puissance que l'effort andin, la même disparité a été, en plus grand, le fait des Etats-Unis : le tonnage laramien est du même ordre de grandeur que le tonnage andin, mais il est d'une matière déjà figée, donc bien plus difficile à déformer.

VI

En temps de compression, c'est-à-dire pendant les paroxysmes et pendant plus d'une phase des temps précurseurs ou même des répliques, il y a tantôt sur toute la ligne, tantôt dans certains segments, un très grand jeu dominant et deux effets dérivés, inégalement grands.

Le jeu dominant — les revers pacifiques de l'Asie, de l'Australie et des deux Amériques, en un mot le domaine des chaînes circumpacifiques étant pour l'instant laissé hors de cause — le jeu dominant, c'est le rapprochement de deux serres continentales, l'Indo-Afrique et la vieille Eurasie, avec rétrécissement de la Téthys. A l'égard du double front que dessinaient les deux serres opposées et à l'égard des puissances dirigées qui incitaient le rapprochement, en jouant tantôt dans un des blocs continentaux, tantôt dans l'autre, tantôt dans les deux à la fois, ces blocs étaient les arrières : je me tiens quelques instants à cette manière de parler. La puissance tangentielle variait dans chaque serre suivant les secteurs ; la résistance, de part et d'autre, variait aussi à raison du degré de rigidité et à raison des sinuosités et des redans du bord : l'arrière de chaque secteur, dans l'une et dans l'autre serre, participait, jusqu'à un point que nous aurons l'occasion de préciser, au même genre de déformation que le secteur frontal lui-même : il y a donc eu d'assez bonne heure une première distribution du dispositif — serres et géosynclinal — par segments de longueurs très inégales et d'une largeur qui augmentait avec le temps, vers les deux arrières, à mesure des progrès du serrage. Chacun de ces segments était étroitement voué, dans le grand jeu total, à une tâche particulière qui allait en se spécialisant. Enfin l'effort horizontal, sur l'un quelconque des diamètres transversaux, variait avec le temps : il grandissait et faiblissait pour augmenter à nouveau, et ainsi de suite en passes alternées, de durées très inégales. Marquons, à ce propos, deux points qui ne vont pas sans beaucoup de conséquences. En premier lieu, la tectonique s'est longuement occupée des variations segmentaires de la résistance et de ce qui en résulte pour l'histoire des arcs ; on sait avec quel éclat. Mais le problème des variations spatiales de la puissance, c'est-à-dire de l'effort tangentiel qui diffère, au même moment, d'un diamètre à l'autre, n'a pas reçu la même attention : il est pourtant primordial et ne le cède, en importance, ni au problème des résistances, ni à celui des variations de la puissance dans le temps. En second lieu, segments et diamètres ne sauraient être, dès qu'il s'agit de grands volumes et de grandes distances, des segments et des diamètres de poussée au sens le plus rigide ; la déformation est toujours plastique



en quelque mesure, un peu plus en moyenne dans les géosynclinaux, un peu moins dans les continents ; le plan incurvé qui est celui de toute l'Asie et en somme du monde suffirait à nous en avertir, en attendant d'autres regards plus pénétrants : il n'y a donc, à proprement parler, que des *diamètres* et des *segments de flux*, caractérisés par un certain régime d'écoulement et de déformation.

Le plus grand des effets dérivés, c'est la déformation des serres, arrières compris ; ou pour tout dire, la déformation des continents. Le mouvement d'une serre — et plus généralement d'un bloc continental quelconque — ne peut se faire absolument d'une pièce, même quand ce déplacement porte, dans le sens horizontal, contre un milieu moins résistant. Cela tient d'abord à ce que la plasticité, dans la masse du continent, ne peut manquer de varier avec le niveau bathymétrique, en passant de la sub-surface au fond et de là au tréfonds ; ensuite à l'hétérogénéité des hauts avec leurs compartiments si disparates, que chacun réagit d'une autre manière à la déformation plastique générale ; enfin, à d'autres facteurs. Quelle va être maintenant, dans les plus grands traits, la distribution des énergies ? En général, la plus grande partie de l'énergie originaire sera consommée en déformations dans le bloc continental même : il n'en peut être autrement puisque cette dérivation d'énergie est la *première* dont on puisse, pour l'heure, parler avec quelque assurance ; et se fait sur place ; et intéresse des volumes auprès desquels toutes les chaînes géosynclinales et autres qui surgissent des mers pèsent peu, au moins dans notre cycle alpin. La rencontre de deux continents, ou encore l'affrontement plus graduellement ménagé de deux portions d'un même continent unies par une zone faible, se traduit par un certain contrecoup du serrage sur les serres elles-mêmes. Il se développe donc, dans la largeur des objets qui s'affrontent, une sorte d'action en retour dont les effets déformants — toutes choses égales d'ailleurs — vont en diminuant à mesure que l'on s'éloigne de la zone d'affrontement pour gagner les arrières : au cas de serrage très vigoureux, cette *seconde* dérivation d'énergie peut atteindre à une grande efficacité. En sorte que la première, compliquée ou non de serrage secondaire intense, développe toujours, dans la masse des continents, des effets très puissants. Ces effets consistent essentiellement, nous le verrons bientôt, en un plissement à grand rayon des vieux bâtis figés : ces *plis de fond*, par les tensions intérieures qui résultent de leur jeu, déclenchent d'importantes cassures, et il n'est nullement certain que des fractures se produisent, dans les aires continentales, en dehors de cette affaire ou du cas de traction distensive.

L'autre effet dérivé, considérable encore, c'est, dans le cas d'un étau, le plissement des chaînes géosynclinales : des arcs se forment, dont la distribution et le jeu dépendent, à l'origine, de la première segmentation à laquelle s'ajoute plus tard, sous l'influence du morcellement par cassures qui atteint les serres et les décompose en secteurs hauts ou bas, d'inégale

résistance, sans parler d'autres facteurs qui paraîtront mieux dans la suite, une division en segments plus courts et plus spécialisés. La proportion d'énergie détournée, par cette *troisième* dérivation, au profit des chaînes géosynclinales et des autres chaînes neuves peut grandir, d'ailleurs, quand les serres sont peu hétérogènes et en conséquence ne se déforment pas trop.

Les chaînes géosynclinales se déversent habituellement vers les *arrières*, c'est-à-dire vers la serre qui provoque le plus directement leur formation. Quand elles viennent à s'appliquer étroitement contre la serre, ou à déferler sur elle, ces chaînes restituent au continent, dans les hauts, une petite partie de l'énergie qu'elles tenaient de lui.

Cette énergie restituée, *quatrième* élément des énergies à l'état distribué, est bien entendu très inférieure aux autres. Ses effets sont ordinairement limités à la marge continentale la plus exposée à la pression en retour des chaînes géosynclinales. L'énergie restituée se progage de ce bord vers les arrières et ses effets décroissent rapidement dans cette direction. La propagation dans le bloc continental se fait soit par les couvertures discordantes, soit par le fond de vieux plis figés. Dans le premier cas, il se forme des *plissements de couverture* ; dans le second, l'énergie restituée aux vieux bâtis s'ajoute à celles qui s'y libèrent directement et concourt avec elles à la production de plis de fond et de cassures qui en dépendent.

Il est donc permis de concevoir, dans la distribution des énergies utiles qui jouent dans un continent et dans ses annexes, au moins quatre dérivations de plus en plus éloignées de l'énergie originaire : la première, qui défraie toutes les autres sauf cas particuliers, ne fait jamais défaut dès qu'il y a en quelque mesure mouvement du continent. La seconde est une conséquence du serrage ; elle n'est qu'une partie de la première et s'emploie, elle aussi, à l'intérieur du continent, avec certaines particularités dans la localisation. La première, y compris cette dérivation secondaire quand elle existe, est l'énergie proprement *intra-continentale*. La troisième, qui est prélevée sur la première ou, ce qui revient au même, sur la deuxième, demeure très inférieure à l'énergie intra-continentale ; elle se consomme en chaînes neuves de type géosynclinal ou de type circumpacifique. La quatrième, beaucoup plus faible encore, est l'énergie *restituée* au continent, et il y a, dans le détail, d'autres espèces de distribution. Nous dirons, quand nous en serons à l'Asie orientale, jusqu'à quel point ces facteurs ont des chances de se retrouver dans le jeu des chaînes circumpacifiques et des cinq continents sur lesquels ces chaînes se moulent. En attendant, nous nous occupons de la Téthys et de ses deux arrières.

L'usage ayant prévalu, en tectonique, de rapporter le sens des mouvements à des continents supposés immobiles, à de vieux massifs envisagés dans leur passivité d'obstacles et non dans leurs déplacements offensifs, nos arrières répondent aux avant-pays de cette plus ancienne convention,

et je me tiens autant que possible, dans la suite, à cette manière de parler. L'autre disance, on le voit, a l'avantage de mieux approcher les origines : les jeux y sont rendus en terme de puissance et non de résistance. Le fait du rapprochement des serres, avec les conséquences tirées ou à tirer, subsiste indépendamment de toute convention, c'est clair. Quant aux énergies originaires, les milieux et les conditions dans lesquels elles se libèrent échappent tellement à nos prises que nous n'en dirons pas beaucoup plus.

VII

Les chaînes de la Téthys, au temps que duraient les paroxysmes, ont joué avec la plus opulente variété de mouvements et de formes. Il ne peut être question d'entrer aujourd'hui, autant que les témoignages le permettraient, dans le récit de cet événement capital. Il faudrait, pour chaque chaîne ou élément de chaîne, marquer les conditions mécaniques imposées aux arcs par la segmentation primitive, par la forme des cadres découpés dans le bâti anté-alpin ; indiquer, pour les cordillères et les sillons qui y naissaient, les partis généraux de la tectonique embryonnaire, je veux dire ce genre de plis qui, une fois pris, ne peuvent plus s'effacer mais seulement s'accentuer ou se fragmenter : il faudrait dérouler, au rebours du temps, les stratigraphies aujourd'hui enroulées dans des plis, et restituer des fonds de mer ; apprécier, sur l'indice des changements de faciès, l'importance des petits mouvements verticaux et les replacer dans l'effort tangentiel qui réglait tout ; rétablir, somme toute, le jeu des plissements précurseurs et le suivre jusqu'à la veille de paroxysmes dont la date varie suivant les points. Ces conditions préliminaires remplies, on entrerait dans l'affaire ; on verrait comment tous ces facteurs, dont l'effet ne saurait être entièrement prescrit avant l'achèvement du cycle alpin, s'imposent, par un héritage qui ne peut être répudié, au jeu même des paroxysmes. On verrait, par exemple, comment peuvent persister, pendant les paroxysmes, des différences de phase que les plissements précurseurs avaient marquées plus faiblement. On verrait pourquoi dans une chaîne, dans un pli quelconque, le siège de l'effort maximum se déplace, avec le temps, en longueur, en largeur ou en hauteur, en un mot, dans l'espace. On saisirait comme en mouvement le rôle du temps exigé par les résistances internes de l'objet qui se déforme, et celui des obstacles extérieurs : on en inférerait les raisons qui font que le fort du paroxysme a lieu ici plus tôt, là plus tard. On assisterait, dans une certaine mesure, à la lutte que les arcs soutiennent entre eux pour la possession de l'espace ; à l'allongement qu'ils marquent aux extrémités libres tout en avançant et en gauchissant inégalement selon les diamètres ; au jeu compliqué des nappes qui couvent en profondeur, sous la tranquillité trompeuse des carapaces, et à mille affaires que je passe. Notre propos sera donc seulement d'indiquer, dans telle tectonique régionale, un trait saillant ; et quant à l'ensemble, de nous en tenir à quelques larges aspects généraux.

Voici l'Himalaya : de grandes lacunes séparent encore les régions explorées. Depuis longtemps, pourtant, on est au clair sur le trait principal, qui est le déversement au sud.

Le rôle de la zone cristalline des hauts sommets — *Himalayan zone* — a été comparé à celui que joue, dans les Alpes, le massif du Mont-Blanc. Essayons de presser cette analogie. Il s'agit, en effet, d'un fragment marginal, précambrien, de l'Inde péninsulaire ; fragment d'abord gauchi en un vaste pli de fond, sous un effort auquel contribuait l'énergie restituée par les nappes de la *Tibetan zone* ; puis débité en coins glissants, en nappes cassantes et charrié vers le sud par le même effort continué. On sait que tel est bien, dans les Alpes, le comportement habituel des massifs hercyniens de la première zone, sous la poussée des nappes penniques vers le nord. En faveur de cette hypothèse, on alléguera la présence des Gondwanas dans le principal plan de poussée, et aussi le fait que dans le prolongement des faisceaux algonkiens plissés des Monts Arvali, si caractéristiques du flanc nord-ouest de l'Inde péninsulaire, on trouve en pleine *Himalayan zone* des terrains plissés auxquels on attribue cet âge : des relations de ce genre existent parfois, dans la première zone alpine, entre les massifs hercyniens extérieurs demeurés sensiblement en place et les massifs hercyniens plus internes débités en coins charriés. Les terrains d'allure planante et encore peu connus qu'on a signalé dans les hauts du Mont Everest ont des chances d'appartenir à quelque étage tectonique plus élevé : couverture normale du cristallin de l'*Himalayan zone* ou nappes venues du nord. D'autre part, les itinéraires récemment reconnus au nord du Mont Everest ont montré de nouveaux synclinaux nummulitiques qui se placent assez bien dans le prolongement de la bande, depuis longtemps connue, du Haut-Indus. Pour la moitié occidentale du Tibet, les tracés géologiques que M. HENNIG a inférés des observations et des collections de M. Sven HEDIN donnent une grande largeur, vers le nord, aux sédiments jurassiques et crétacés de la Téthys : ce bâti alpin, traversé de nombreux massifs et pointements de roches granitoïdes, supporte des laves tertiaires qui règnent vers l'est, à partir des sources de l'Indus et atteignent, en longeant la rive nord du Brahmapoutra, le 88^e méridien.

Passons à l'arc iranien méridional. Il est visible que les ouvrages les plus avancés de cette chaîne, tranchés net par la côte dans les parages de Karatchi, doivent se continuer outre la mer d'Oman : ce sont eux, en effet, qui reparaissent en Arabie dans la chaîne de Mascate dont on doit faire un arc alpin, puisqu'il s'y trouve du Nummulitique plissé.

Donnons en passant un bref coup d'œil aux plissements de couverture de l'Indo-Afrique. Les uns sont notoirement connus comme tels ; d'autres n'ont pas été compris, et ont été tenus pour des gauchissements entre des failles ; d'autres restent à trouver. Voici d'abord les chaînons jurassiques et nummulitiques du Radjpoutana, avant-garde de l'arc iranien

vers l'Inde péninsulaire ; puis divers accidents encore mal débrouillés à la marge occidentale de l'Irak ; puis le Liban avec ses plis bien réglés ; au-delà, la Palestine est faite de Crétacé et de Nummulitique faiblement plissés, un peu affectés, vers l'est, par des failles qui annoncent les grandes cassures jordaniques ; plus loin, il y a des plis dans le nord de la péninsule sinaïtique ; et dans la Basse-Egypte des deux côtés du sommet du delta ; et en Cyrénaïque, où deux larges anticlinaux nummulitiques, qui dessinent du sud de Derna à l'est de Benghazi un arc convexe au nord-ouest, ont été pris pour un jeu de failles verticales séparant des paquets gauchis : il est évident, au contraire, que les plis sont l'affaire et les failles le détail. On arrive ainsi, à l'ouest, au large dôme à cœur triasique et jurassique du sud-est de la Tunisie, qui s'étale sur le continent au sud de l'île de Djerba, et aux faibles plissements qui font onduler les tables du Sud-Algérien. Que des efforts tangentiels notables aient joué au loin dans la masse de l'Afrique, soit par la couverture soit peut-être par le fond, c'est ce que montrent les plissements qui affectent, dans le bassin de Bénoué en Nigeria septentrionale, des dépôts d'âge mésocrétacé et peut-être néocrétacé, dont les rapports avec le Nummulitique ne sont pas pleinement élucidés.

Tournons-nous vers de plus larges aspects. On a pensé, il y a longtemps, reconnaître dans les plissements géosynclinaux issus de la Méditerranée une disposition en chaîne double, avec une aile nord, Alpes, Carpathes, Balkan, poussée vers l'Europe, et une aile sud, Atlas, Apennin, Dinarides, Taurides, qui est poussée, tout compte tenu des sinuosités décrites par les arcs, au sud vers l'Indo-Afrique. Cette ancienne manière de conter a du bon. Le prolongement de l'aile sud dans l'arc iranien méridional et dans l'arc himalayen ne fait de doute pour personne ; mais qu'en est-il de l'aile nord en Asie ? Que le Balkan soit relié ou non à la Crimée est une question secondaire ; les espaces faiblement plissés que M. Cvi¹ a signalé entre ses rameaux orientaux, tout à l'est de la Bulgarie, annoncent plutôt des extrémités libres. Quoi qu'il en soit, une chaîne peut se diviser et par conséquent posséder plus d'un prolongement. Il n'y en a qu'un de suffisamment attesté : c'est l'Istrandja qui, des environs de Yamboli, s'allonge au sud-est vers la mer Noire. Au delà du massif dévonien de Constantinople et du Bosphore, il y a des plis alpins dans la péninsule d'Ismid. Sur ce diamètre ou à peu près, le faisceau alpin de l'Egée orientale, qui remonte de Chio et des environs de Smyrne avec une direction méridienne un peu est, sans concerner directement notre problème, esquisse un rapprochement avec l'arc anatolien septentrional qui est un élément encore mal connu de l'aile nord de la chaîne double. Au-delà, c'est l'arc iranien septentrional qui montre, dans le soubassement du Demavend et plus loin dans le Kopet-Dagh, des plis alpins déversés au nord ; c'est encore, dans le revers nord-est du Karakorum, puis entre cette chaîne et l'arc de Yarkend, d'autres plis alpins déversés au nord-est vers les plaines du Tarim. Il

semble donc qu'on puisse, sans invraisemblance, suivre cette aile nord jusqu'au droit de l'arc himalayen. On ignore pour de grandes longueurs, il est vrai, le sens du déversement de ces chaînes, et dût-on signaler des déversements à rebours, il faudrait encore apprécier ces faits à venir, sans oublier que si ce sens se confond fréquemment avec celui de la poussée, il peut aussi lui être diamétralement opposé. Il n'est pas besoin, pour cela, que la poussée change de sens ; il suffit qu'avec le temps, le point d'application de l'effort maximum se déplace vers le bas. Des considérations analogues vaudraient pour le prolongement probable de cette aile nord dans une partie au moins du Tibet. Les plus grands plis de fond de l'Asie, Kouen-Lun occidental et moyen, se développent d'ailleurs immédiatement au nord, et le flux profond qui les porte s'écoule au nord-est un peu nord, comme nous le montrerons.

VIII

Passons à des questions grosses d'avenir. SUESS a esquissé la forme d'un grand nombre de *virgations* ; il a parlé de virgations ouvertes, de virgations primaires, de virgations forcées ou secondaires. Quant au jeu de mouvements qui engendre ces objets, la pensée du maître s'est contenue en de brefs passages d'une implication si prodigieusement dense qu'il est presque téméraire de prétendre remonter au tour original et premier, à cette *mouvance d'images visuelles* qui est l'éclair où jaillit toute invention en tectonique. A ranimer ces jeux, on cède bien vite à la tentation de les prolonger. Ils me sont apparus, au sein de l'universelle déformation, comme un monde d'images en mouvement et les conséquences, qui vont se dégager peu à peu de nos enquêtes régionales, me feront peut-être pardonner d'avoir, dans la vue que j'en donne, laissé couler quelque chose de ma propre pensée.

A ne prendre que la forme, hors de tout souci d'interprétation, on reconnaît des virgations du *premier genre* (fig. 1 et 2) et des virgations du *deuxième genre* (fig. 3 et 4). Les unes et les autres peuvent être simples (fig. 1 et 3) ou doubles (fig. 2 et 4). En se répétant, en se combinant ou en s'associant, ces types donnent des virgations plus complexes. Je ne m'occupe pas, aujourd'hui, de savoir s'il existe d'autres genres de virgations.

On reconnaît une virgation du premier genre au fait que les éléments plissés se serrent dans le segment central, qui est convexe, et divergent à l'aile, ou aux deux ailes, en gerbes qui s'ouvrent dans la direction d'extrémités libres ; les éléments les plus avancés s'alignent, d'un bout à l'autre du dispositif, en un front convexe et continu.

Dans les virgations du deuxième genre, les éléments plissés sont notablement espacés dans le segment central, qui est convexe ou rectiligne. Ils se serrent, par contre, à une aile ou aux deux, en un groupement d'extrémités déviées qui tendent à se ranger sur une seule ligne ; à se relayer

en échelons ou en épis qui interrompent souvent la continuité du front, en sorte que ce dernier est occupé, à mesure qu'on s'éloigne du segment central, par des éléments de plus en plus internes ; à s'amincir, enfin, dans le même sens.

Il y a deux conditions qui, réalisées dans le même objet, peuvent porter à prendre une virgation du deuxième genre pour une virgation du premier. Que les extrémités déviées s'allongent au point de former un faisceau bien réglé, rétablissant sur quelque longueur le front continu ; qu'en même temps une partie du segment central soit enfouie sous des terrains de couverture : la ressemblance deviendra assez frappante, mais pas au point d'en imposer à un œil sensible au subtil témoignage des formes. A l'ordinaire, il subsiste assez de choses visibles pour que le diagnostic puisse être posé.

En passant à la vision du jeu déformateur, on trouvera que dans les virgations du premier genre, l'avancée, très prononcée au centre, décroît rapidement vers les ailes ; que l'effort tangentiel utile, qui dépend, sur chaque diamètre, de la puissance et des résistances interne et externe du milieu, décroît dans le même sens ; que ce décroissement résulte d'une diminution de la puissance et non d'une augmentation de la résistance interne ; que la résistance externe, jamais absente même quand aucun môle n'est là, n'est que la résistance d'un avant de même nature et de même plasticité que le milieu qui plie ; que la distribution en est égale au point de permettre la formation d'un front arqué continu ; que tous ces caractères, enfin, annoncent un plissement qui joue en liberté, ou peu s'en faut ; un plissement qui travaille, pour ainsi parler, en pleine étoffe et ne s'arrête qu'à épuisement de la matière disponible ou par extinction de la puissance. Les virgations du premier genre, aussi longtemps qu'elles ne sont pas déformées par suite de l'hétérogénéité du milieu, ou contrariées par un obstacle extérieur qui les amène aux jeux du deuxième genre, sont des virgations *libres*.

Un spectateur qui embrasserait toute l'affaire, en regardant dans le sens de la poussée, la comparerait aisément à l'avancée d'un arc d'offensive dans un adversaire qui résiste faiblement et ne cesse de plier, mais qui est partout présent et contre lequel on ne peut agir qu'avec des effectifs limités. Il y aurait, pour notre observateur, un centre où les attaques frontales, prononcées dès le début, se poursuivraient pendant toute l'action ; il y aurait une aile gauche et une aile droite, lentement renforcées et allongées au cours de l'affaire, mais toujours en retard sur le centre où le gros de la puissance ne cesse d'être concentré. Au cas de virgation simple, il n'y aurait qu'une aile. Sans poursuivre ces métaphores, on retiendra la notation des aspects mouvants, qui a pour elle la vérité de l'image et la concision du tour. Cette notation, faite pour les virgations du premier genre, vaut encore pour celles du deuxième, avec des changements qui tiennent à la force et au dispositif de l'adversaire.

La plus belle virgation du premier genre qu'il y ait au monde, c'est celle qui joue, presque tout entière sur le sol persan, à l'aile droite ou occidentale des faisceaux internes de l'arc iranien méridional. La poussée générale porte vers le sud. Le diamètre d'effort maximum répond au 63^e méridien ; le plus grand serrage se fait de part et d'autre du 27^e parallèle. De ce segment central les gerbes s'étalent vers le nord-ouest. Il y en a deux principales ; la gerbe externe qui, en direction générale de Kirman et Yezd, atteint plus loin le 52^e méridien, et la gerbe interne qui s'allonge vers Badjistan sur le 58^e. Plusieurs extrémités libres dépassent au nord le 34^e parallèle ; au-delà, l'étoffe commence à manquer par suite du voisinage de l'arc iranien septentrional qui plus au nord fait obstacle ; quelques extrémités s'infléchissent vers l'ouest et tendent à se ranger à la direction de cet arc. Le cloisonnement des pays iraniens en déserts synclinaux, en *kévirs*, résulte de tous ces étalements. Ce que nous avons dit du rôle de la résistance externe doit s'entendre ici en un sens relatif : il est bien certain que le massif arabe intervient avec force à l'ouest du 60^e et surtout du 56^e méridien, mais ce sont les faisceaux externes de l'arc iranien méridional qui subissent le gros de cette résistance. La virgation des éléments internes décèle la mouvante liberté de plis arqués qui ont encore du chemin à faire, vers le sud-ouest, pour arriver à l'alignement prescrit par l'antique obstacle.

Une autre gerbe sortie des Pamirs, et qui est faite d'éléments plus septentrionaux, commence à se déployer dans la région de Kaboul et s'ouvre en éventail vers les plaines de l'Hilmend. Ses plis méridionaux s'allongent par extrémités libres vers le désert, qu'ils atteignent sur la ligne de Kandahar à Farah, peu différente du 32^e parallèle. Ses plis septentrionaux s'allongent au delà de la ligne de Farah à Hérat (62^e méridien) ; ils s'arrêtent en vue des plis les plus internes de la grande virgation persane, arrivés bons premiers sur le terrain disputé, et qui opposent à un allongement ultérieur de la virgation afghane un obstacle infranchissable, aligné à angle droit. Dans son segment central, qui est très fortement contenu par le massif indien et appartient déjà à la grande serrée des Pamirs, cette virgation afghane est devenue de bonne heure une virgation forcée ; par son segment étalé, elle est encore aujourd'hui une virgation presque libre.

L'aile orientale de l'arc iranien méridional se décompose, comme on sait, en arcs de détail que raccordent des inflexions concaves ou que divisent des rebroussements aigus. Inflexions et rebroussements sont dus à des renforcements locaux de la résistance indienne, distribués par segments répétés. Tous les arcs convexes marquent à une de leurs ailes ou aux deux, avec des degrés dans l'intensité du serrage, des virgations du deuxième genre : l'arc du Béloutchistan à l'aile gauche ; l'arc du Sewestan aux deux ailes et notamment à gauche dans les Monts Souleïman ; l'arc de la Salt Range à l'aile gauche dans le Hazara, le long du Jhelam. La poussée domi-

nante, dans ces arcs de détail, est partout vers le sud-sud-est et le reste n'est que poussées déviées ; toutes les ailes gauches sont étirées par des traînages en long qui portent du nord au sud. Pour les autres détails de ces jeux, je m'en remets à ce que nous allons dire, plus généralement, de cette sorte de virgations.

Pendant que nous sommes à l'arc iranien, aiguïsons notre vue du mouvement en faisant intervenir les aspects verticaux. Le grand vide dans lequel fonce la poussée principale, entre l'Inde et l'Arabie, ne se traduit pas seulement par la convexité du plan, mais encore par un large abaissement d'axe ; à cet écoulement plus libre s'oppose, aux deux ailes que contiennent solidement les deux grands môles, une exaltation que révèle, dans le Zagros nord-occidental comme à l'approche des Pamirs, l'apparition, sous les faisceaux alpins, de fragments du fond de vieux plis anté-alpins. Je puis négliger, dans une telle vue d'ensemble, le détail des ondulations axiales secondaires, qui d'ailleurs n'est connu qu'en partie.

Les virgations du deuxième genre sont des virgations *forcées* au sens de SUESS, des virgations provoquées par un obstacle extérieur. Y a-t-il d'autres virgations forcées que celles de notre deuxième genre ? J'incline à répondre non ; mais pour le dire en toute certitude, il faudrait un inventaire complet des formes que présentent les virgations forcées. Notre propos étant bien plus de voir que de classer, nous n'entrons pas, pour l'heure, dans cette affaire. Pour que se produise une virgation du deuxième genre, la simple présence de l'obstacle ne suffit pas : un obstacle parallèle au train des plis ne provoquerait qu'un déferlement en ondes de même direction. Il faut encore que l'obstacle présente des conformations singulières, dont la plus opérante est un changement de direction du bord résistant. Notre spectateur, orienté comme la première fois, verrait chaque arc d'offensive, au centre, foncer droit à l'avant, plus ou moins vite et loin suivant la force de l'obstacle ; il verrait, à l'aile ou aux ailes, la lutte s'exalter et se fixer devant un puissant adversaire auquel les jeux de flanc sont permis.

Dans les virgations du deuxième genre, la disposition arquée est imposée du dehors et non, comme dans celles du premier, imprimée du dedans. Au large de l'obstacle, les lignes d'écoulement du flux plastique général sont plus ou moins parallèles entre elles, et les plis relativement doux qui se forment sont normaux à ces lignes. Cette disposition se maintient, en s'accroissant, à l'approche et à l'affrontement de l'obstacle, mais seulement dans le secteur central où la chose résiste en plein, normalement aux lignes de flux ; les plis se serrent en trains parallèles au bord résistant, montent et parfois déferlent : l'attaque est nettement frontale. Quand ce secteur d'incidence normale répond à un minimum de résistance, il y a tendance à la formation d'un front convexe ; s'il s'agit d'un maximum, le front marque une inflexion au droit d'un segment long et un re-

broussement au droit d'un segment court, qui d'ailleurs peut se réduire à un promontoire aigu. Mais que le bord de l'obstacle change de direction, le sens d'écoulement général du flux demeurant ce qu'il est : les plis nés dans un segment central ne peuvent s'allonger indéfiniment ; ils rencontrent, à l'aile, la résistance de l'obstacle et leurs extrémités se recourbent avec une tendance, souvent poussée à fond, à se ranger à la direction du bord. Ainsi naît la disposition en épi, en échelons qui se relaient en dessinant au faux front continu. Le déferlement, quand il se produit à l'aile, peut être poussé jusqu'à l'imbrication, chaque arc de détail tendant à surmonter l'extrémité de l'arc plus externe. Au surplus, les lignes de flux perdent, à l'approche de l'obstacle oblique, leur parallélisme : elles divergent et s'écartent de plus en plus du diamètre central, ce qui diminue ou élimine l'obliquité de l'abordage. Dans l'aile d'une virgation du deuxième genre, il se produit un traînage au long du bord résistant : ce phénomène, que j'ai comparé il y a dix ans, pour l'image, au courant littoral qui naît du déferlement oblique de vagues liquides sur un rivage, se complique, dans le cas de plis, d'une traction en long exercée par le segment central sur les extrémités qui, travaillées dans le même sens par tous ces jeux en long, s'étirent et s'amincissent d'autant plus qu'il s'agit de diamètres plus éloignés du centre. La longueur du traînage et l'intensité des étirements diminuent du bord résistant vers le large, vers l'*amont* du flux ; tous les effets longitudinaux s'amortissent et finissent par s'éteindre dans cette direction. La répétition d'une résistance oblique de l'autre côté du secteur normal fait naître une double virgation du deuxième genre. Ce type est réalisé, par exemple, dans l'arc du Sewestan. L'arc birman, à poussée générale portant à l'ouest, montre à l'aile droite, septentrionale, une virgation du même genre mais simple, détails réservés.

Les jeux délicats des virgations du deuxième genre étant élucidés, on voit quel intérêt nouveau s'attache à ce phénomène. Il permet, à la seule inspection du plan, de déceler en profondeur, dans les avants, des résistances invisibles ; d'indiquer les changements de direction du bord contrariant ; de reconnaître sous une chaîne ou un train de chaînes, chose capitale, le *sens* général de l'écoulement du flux profond qui porte la virgation ; d'évaluer jusqu'à la déviation que marquent les lignes de flux à l'approche de ce qui résiste. Une méprise sur le sens d'écoulement est impossible, ou alors c'est que l'objet n'est pas une virgation du deuxième genre. Le phénomène permet encore de restituer quelque chose des formes successivement assumées par les éléments plissés : il suffit de ramener en arrière, par la pensée, ces éléments, en augmentant les rayons de courbure du plan tout en veillant à la conservation du style et en raccourcissant peu à peu les plis, de l'aile au centre ; au surplus, on doit se garder de poursuivre la restitution trop en amont. C'est ainsi que la tectonique remonte le temps ; en le descendant, on verrait que, sauf perturbations

diverses, les incurvations du plan se sont prononcées en accentuant le même style, et que l'état présent est une survivance non pas voilée, mais au contraire avivée des états antérieurs. Ce point est également vrai des virgations du premier genre, avec les mêmes conséquences pour la restitution : raccourcir lentement les ailes en desserrant le front et en le ramenant, plus que les ailes, à l'amont ; réduire toute l'affaire à un segment frontal de plus en plus court, de plus en plus pauvre en plis, cependant que tout s'abaisse ; finalement, tout effacer et rendre les choses à la condition presque plane qui est le vrai départ des virgations du premier genre, peu aptes, sauf le cas de géosynclinaux assez larges, à se manifester ailleurs que dans des plissements de couverture ou de fond. Je n'ai pas besoin d'ajouter que si les virgations du deuxième genre révèlent le sens d'écoulement des flux profonds, elles ne nous apprennent rien du sens de poussée : ce dernier a des chances, rarement négligeables, de se confondre avec celui du flux. Il peut aussi en être l'inverse ; cela dépend de la manière dont les hauts, avec leur rigidité relative et leur hétérogénéité, réagissent à la déformation plastique qui travaille en volume aux grandes profondeurs.

Quant à la nature des éléments qui entrent en virgation, il y a des virgations de plis autochtones, qui sont aussi des virgations de plis de couverture ; des virgations de plis couchés, qui se marquent surtout dans le jeu des digitations et des replis des carapaces, comme je l'ai montré pour l'intérieur des Alpes Occidentales où il s'agit d'une virgation du deuxième genre ; des virgations de chaînes ou de cordillères ; des virgations de plis de fond, comme celle des Montagnes Rocheuses, celle du Tien-Chan et celle que nous décelerons dans le Nan-Chan, l'Altyn-Tag et leurs arrière-chaînes, avec les conséquences qu'on verra.

IX

Les déformations alpines de la vieille Eurasie, au nord de la Téthys, nous retiendront quelque peu. Rappelons en bref les conditions qui avaient précédé. Les plissements antédévonien et les plissements hercyniens étaient depuis longtemps arasés. Vers la fin de chaque cycle orogénique l'érosion, vainement combattue par des plissements attardés, s'accroissait. Dans les premiers temps du cycle suivant, quelques jeux de failles, quelques plissements précurseurs de l'ordre nouveau pouvaient retarder encore, et inégalement selon les points, l'inévitable accomplissement, mais longtemps avant les paroxysmes du cycle orogénique courant, la condition de pénélaine était assez généralement réalisée. Les couches de l'Angara, dans lesquelles il faut voir les décombres du relief des temps hercyniens, montent dans le Lias et parfois dans le Jurassique moyen : il y avait donc encore, en ces temps, des reliefs à consommer, mais l'aplanissement, déjà fait par larges surfaces, tendait vers son terme.

Le bord nord de la Téthys proprement géosynclinal, au Permien, au Mésozoïque, au Nummulitique, s'était maintenu à l'intérieur de ce qui devait être plus tard les hautes terres du Tibet. Immédiatement au nord, dans ce qui devait donner l'essentiel du Kouen-Lun entre le 75^e et le 105^e méridien, les bâtis hercyniens et plus anciens gauchissaient en faibles plis de fond, au dressage desquels contribuait le contrecoup des plis précurseurs alpins œuvrés dans la Téthys : ce complexe de rides était l'ébauche du Kouen-Lun.

Au Permien, au Scythien, à l'Anisien, la mer pouvait encore pénétrer, au moins par places, dans ce glaciaire nord de la Téthys. Elle accomplissait, sur cette étroite marge épicontinentale du géosynclinal, des balancements très contenus, et si les lambeaux clairsemés que l'on connaît de l'un ou de l'autre de ces trois étages s'approchent parfois fort près des plaines du Turkestan oriental ou du Kan-sou, du moins, autant qu'on sait, n'y atteignent-ils point. Le rivage n'était pas loin au nord et ne paraît point s'être trop écarté, en moyenne, de la ligne qui marque aujourd'hui le pied nord des chaînes.

Il semble qu'aux temps postérieurs les ébauches des plis de fond, à cette marge méridionale des vieux torsos asiatiques si particulièrement exposée aux poussées alpines, se soient par moments un peu accentuées et que la Téthys en ait été encore mieux contenue : les dépôts jurassiques et crétacés marins se tiennent à l'arrière de l'arc de Yarkend sur lequel posent les couches de l'Angara ; le Nummulitique du pied nord-est des montagnes n'est connu que de Yangi-Hissar à Sandjou, et c'est peut-être de l'ouest qu'il a pénétré dans cette extrémité du Turkestan oriental ; à l'est du 79^e méridien, aucun dépôt marin postérieur à l'Anisien n'a été rencontré dans les chaînes septentrionales du Kouen-Lun ou dans les plaines qui suivent au nord. Une barrière nette s'opposait donc, dans ce segment, à de grands déplacements horizontaux des rivages.

Mais ce qui est aujourd'hui la moitié occidentale du Tien-Chan, l'Alaï et les marges orientales du Touran marquait, pendant la préparation mésozoïque et nummulitique du cycle alpin, un jeu tout autre. Cette région appartenait, alors comme aujourd'hui, à la moitié orientale de la large dépression méridienne qui intéresse, avons-nous dit, toute la largeur de l'Asie, de la mer de Kara à la mer d'Oman. La partie nord de cette dépression, en communication facile avec la Téthys par le sud touranien, a été fréquemment occupée par la mer pendant le cycle alpin. A sa marge orientale, qui comprenait les régions que nous venons de nommer, les séries sont essentiellement épicontinentales et discontinues ; du moins la mer, qui n'y rencontrait aucune barrière complète, pouvait-elle pénétrer au loin vers le nord. Au Trias nous la trouvons installée dans l'Alaï et dans la Boukharie orientale. Du Jurassique marin encore mal connu a été signalé dans la dernière de ces contrées. Les dépôts mésocrétacés

et néocrétacés atteignent le Ferghana et la moitié occidentale du Tien-Chan. Les dépôts nummulitiques s'étalent au loin sur les régions touraniennes et c'est peut-être de là que la mer a pénétré, vers l'est, jusqu'à Sandjou. A l'est du 80^e méridien, on ne connaît pas de dépôts crétacés marins dans le Tien-Chan, ni de Nummulitique le long du Kouen-Lun ; abstraction faite des sinuosités de détail, le rivage oriental des mers courait en moyenne du sud au nord.

Le segment oriental de la Téthys, celui qui s'incurve du Tibet oriental à la Birmanie, a d'ailleurs dépêché vers l'est, sur de larges parties du Se-Tchouen, du Kouei-Tcheou, du Yunnan et du Tonkin, un tablier de Trias marin épicontinental. Au Yunnan, la transgression mésotriasique est l'épisode marquant de ce jeu.

Il n'y avait plus, au Jurassique moyen, beaucoup de vieux pays qui eussent conservé quelque relief. Il en est d'autres, cependant, au pourtour desquels la série des dépôts continentaux monte bien plus haut. Qu'on pense au Crétacé continental du bassin du Se-Tchouen, à la base duquel se trouve un Eocrétacé à faciès wealdien ; il faut bien que les vieux socles, à la périphérie du bassin, aient gauchi sous une poussée qui a ranimé l'érosion : le Se-Tchouen appartient donc encore à cette marge orientale de l'Asie qui a été si nettement affectée par les jeux du sous-cycle andin. On voit l'intérêt qui s'attacherait, en d'autres régions de l'Asie intérieure, à la découverte d'horizons continentaux supérieurs aux niveaux jurassiques connus jusqu'à présent dans les couches de l'Angara.

Surviennent les paroxysmes tertiaires. La Téthys est obstruée par les chaînes. L'Inde péninsulaire, au Sud, et la vieille Asie, au Nord, sont soulevées ; les mouvements deviennent solidaires : du cap Comorin à l'Océan Glacial tout se déforme. Les énergies intra-continetales, très renforcées par le serrage intense et un peu augmentées de l'énergie restituée, au sud par les chaînes de la Téthys, au nord par les chaînes périarctiques, travaillent la Terre de l'Angara : la vieille Asie tout entière ondule, et par ses fonds inégalement figés, et par ses couvertures discordantes ; en ondulant, elle casse par places ; tel est, avec des réadaptations isostatiques, l'essentiel du jeu.

X

Les déformations tangentielles des continents comportent, disions-nous, des plis de couverture et des plis de fond ; on conçoit d'ailleurs que les deux effets puissent se superposer sur la même verticale.

Les *plissements de couverture* peuvent affecter toutes les allures et prendre tous les rayons de courbure : plis ordinaires, de faible rayon, rectilignes ou arqués, isolés ou groupés en faisceaux parallèles ou divergents, et bien réglés dans leur allure cylindrique, comme les chaînes géosynclinales sont réglées en plus grand ; plis de grand rayon et d'aire restreinte, qui

sont les ébauches des plis précédents ou celles de dômes et de cuvettes ; plis de grand rayon et d'étendue moyenne, qui sont les cuvettes et les dômes eux-mêmes. Le règne des grands rayons seuls sur de très grandes aires implique autre chose qu'un plissement de couverture et annonce une participation du fond, même quand ce dernier n'est pas visible. Les niveaux plastiques qui divisent la couverture en étages inégalement déformables fonctionnent comme autant d'assises lubrifiantes qui permettent des glissements horizontaux et facilitent le plissement. Ces glissements s'accompagnent, plus rarement, du décollement de la couverture entière qui en ce cas glisse directement sur le vieux bâti.

Tous ces jeux peuvent également se produire quand une vaste étendue du vieux fond vient à subir un raccourcissement, même très petit, sous la couverture ainsi obligée de froncer par places. Ce cas implique déjà une faible participation du fond, mais en raison de l'identité des effets de surface et aussi de la difficulté, insurmontable quand le fond n'est pas visible au jour, de déceler cette participation, nous dirons encore qu'il y a plissement de couverture.

Les plissements de couverture, ainsi compris, peuvent être encadrés ou non par des saillies du vieux fond. On sait que le premier cas est fréquent dans l'Europe occidentale. L'Asie en offre d'ailleurs de beaux exemples : les plis des couches de l'Angara sur le bouclier sibérien et une partie, à tout le moins, de ceux qui affectent les terrains triasiques, jurassiques et crétacés du bassin de Se-Tchouen, sont des plis de couverture fortement encadrés, comme le sont à un moindre degré ceux du Jura ou du bassin de Paris. Le Liban et l'Atlas saharien sont le fait d'un plissement de couverture de grand style. Le nord de l'Indo-Afrique, avec ses grandes couvertures régulières étalées d'un seul tenant, est favorable à l'accumulation de petits efforts tangentiels sous forme de plissements de couverture peu ou point encadrés : qu'on pense à tout ce qu'on connaît de petits plissements dans les pays tabulaires égyptiens, tripolitains, tunisiens, algériens. Le continent de l'Angara, avec son voile essentiellement discontinu de dépôts continentaux, n'offre pas de champ aussi étendu ; la disposition des couvertures par bassins ne permet pas partout un jeu aussi libre.

Je puis passer le cas, évidemment imaginable, où chacun des vieux plis arasés rejouerait dans ses anciennes charnières au cours du cycle nouveau : on conçoit qu'il en puisse résulter des froncements de la couverture quand elle existe, mais on n'a jamais signalé de tels rejeux individuels ; sans vouloir les exclure tout à fait on peut les tenir pour très modérés et admettre que la rigidité relative des vieux bâtis ne permet plus qu'à titre exceptionnel les déformations de petit rayon.

Les *plis de fond* sont une toute autre affaire, et par leur tonnage imposant, qui peut dépasser celui des plus grandes chaînes géosynclinales, et par l'immense énergie que leur production peut consommer, et par bien d'autres

traits qui les distinguent de ces chaînes comme des plissements de couverture. Nous avons mentionné, en passant, quelques-unes des sources de leur énergie et nous y reviendrons. Ils n'ont nulle part plus d'importance qu'en Asie ; très considérables encore dans l'une et l'autre Amérique, plus modérés en Europe et puissamment développés en Indo-Afrique, ils sont une partie tellement essentielle de la grande tectonique, que je ne puis manquer de m'y arrêter quelque peu (Fig. 5).

Un pli de fond est un pli de moyen ou de grand rayon, incité dans un vieux bâti plissé, arasé et plus ou moins figé, indépendamment de tout rejeu individuel notable des anciens plis : il se constitue ainsi, dans ce vieux fond même, une intumescence récente, ordinairement plus longue que large, à laquelle la couverture discordante, quand elle existe, se conforme dans les grands traits. Les vieux plis et les vieux batholites, englobés en nombre variable et parfois assez grand dans le cœur d'un pli de fond, y ont un comportement solidaire et passif. Un pli de fond peut embrasser la largeur de plusieurs plis anciens et imposer sa forme à un complexe quelconque de vieilles structures ; les plis anciens peuvent le traverser obliquement, normalement, ou lui être parallèles, ou décrire dans son intérieur les sinuosités les plus variées : ce sont de vieilles choses inertes dans un ordre nouveau. Quand il y a plusieurs plis de fond rapprochés, les traces des vieux plis peuvent passer de l'un à l'autre et il n'y a, au surplus, aucune relation nécessaire entre le sens du déversement d'un pli de fond et celui des vieux plis morts qui en occupent le cœur.

Les plis de fond, comme les plis de géosynclinaux, peuvent s'assembler en chaînes. Ces chaînes de fond, comme les chaînes issues de géosynclinaux, sont des chaînes réglées, c'est-à-dire point trop différentes d'un agencement cylindrique des structures, mais il faut l'entendre, ici, seulement des parties extérieures — surface du noyau arasé et couvertures gauchies — et non plus du cœur même.

On retrouve, dans le jeu des plis de fond, beaucoup des règles qui conviennent aux plis ordinaires. Ce sont celles qui demeurent compatibles avec la moindre plasticité du milieu. Disposition en grands arcs d'ensemble, virgations, segmentation en arcs de détail, inclinaisons d'axe avec succession des points hauts et des points bas en coupe longitudinale, dissymétrie de la coupe transversale, allongement des extrémités libres dépendent, comme dans les chaînes ordinaires, d'une puissance qui déforme, de la résistance interne, de la conformation des espaces disponibles et d'obstacles inégalement résistants distribués par segments. Mais le flux semi-plastique d'où surgissent les plis de fond étant de dimensions continentales et non plus limité à la largeur d'un géosynclinal, il faut compter avec l'hétérogénéité de ces vieux blocs : il y a donc, dans ce flux, de grandes masses moins déformables qui influencent le jeu et la distribution des plis de fond et qui sont bien encore, en un sens plus relatif, des obstacles.

La définition des particularités d'un pli de fond ne doit s'entendre que des formes structurales nouvelles, et pour n'en donner qu'un exemple, il serait très regrettable, au point de vue de l'interprétation des mouvements, de confondre l'inclinaison d'axe d'un pli de fond avec celle d'un des plis anciens et figés de l'intérieur du noyau.

Pour les plis de fond comme pour les plis ordinaires, les inclinaisons d'axe s'expliquent très souvent par l'intervention, à grande ou à brève distance, de massifs particulièrement résistants et par les variations segmentaires de la puissance. Un obstacle à l'avant d'un pli de fond obligera ce dernier, dans beaucoup de cas, à prendre un bombement axial, et dans les segments à moindre obstacle il y aura abaissement d'axe ; les variations de la puissance peuvent d'ailleurs compenser et quelquefois inverser ces jeux, qui demeurent pourtant la règle. Qu'on pense, en attendant des exemples asiatiques et même européens, à l'exaltation que marquent, du Mont Saint-Elie aux abords du golfe de Californie, les grands plis de fond tertiaires à matériel andin ; cette exaltation se soutient, du 62^e au 32^e parallèle, aussi longtemps qu'une Laurentia, visible ou cachée, est en avant pour résister. Mais que les plis de fond, aux deux extrémités de l'immense édifice, s'approchent moins de l'obstacle ou réussissent à le contourner, ils ne sont plus aussi vigoureusement provoqués dans leur jeu tangentiel et s'abaissent vers le sud, au long de la Basse-Californie, du Mexique méridional et de l'Amérique centrale, pour ne plus percer qu'en quelques points sous le bâti tertiaire des Antilles ; ils s'abaissent de même, au nord, par la péninsule d'Alaska, pour se perdre en profondeur sous l'arc aléoutien. Qu'on pense, en outre, aux singularités plus locales, mais grandes encore, de ce phénomène : par exemple, à l'influence que le plateau du Colorado, cet éperon avancé de la Laurentia, lui-même retravaillé au nord et à l'est en plis de fond laramiens, a exercé par sa pointe occidentale sur la marche des plis de fond ando-alpins. Cette influence ne se traduit pas seulement en plan, par le grand rebroussement qui, vers le 35^e et le 36^e parallèles, affecte tout le faisceau des chaînes du Great Basin, et les Monts San-Bernardino, et la Sierra Nevada, ce parfait exemple de grand pli de fond dissymétrique, cassé à l'avant ; elle s'exprime encore par l'exaltation relative du pâtre de montanges grâce à quoi les grands synclinaux de fond, vallée du Sacramento-San Joaquin et golfe de Californie, ne se rejoignent pas. La poussée, sur ce diamètre, est essentiellement à l'est-nord-est, avec des variations locales dues au rebroussement lui-même. Quant aux Coast Ranges qui, dans ces parages, montrent d'importants déversements alpins vers le Pacifique, il suffit, pour les expliquer par la même poussée générale, d'en appliquer l'effort maximum à une certaine profondeur et non au plus près de la surface ; ainsi sont levées, comme il y a quelques années pour les Alpes, les difficultés opposées à l'idée d'une poussée unilatérale. Qu'on s'arrête un instant à

cet autre pôle montagneux qui, du 41^e au 44^e parallèle, est monté entre la vallée du Sacramento et le Puget Trough ; c'est un bombement axial qui, sur 300 kilomètres de longueur, relève un synclinal de fond et annonce une résistance à l'avant, sous les laves du Columbia Plateau elles-mêmes plissées à grand rayon, résistance dont le grand batholite récent de l'Idaho peut donner quelque idée, à moins qu'elle ne doive être cherchée dans des conformations laurentiennes de site plus oriental. Qu'on pense enfin, bien qu'il soit trop tôt pour faire partout, dans les cordillères de l'Amérique méridionale, le partage de ce qui est plis ordinaires et de ce qui est plis de fond, à l'abaissement marqué par les Andes entre le 35^e parallèle et le cap Horn, une fois la résistance brésilienne dépassée.

Quand il y a deux et non plus un seul massif très solide, le serrage des chaînes et des plis intervient, comme dans un étau : sauf compensation ou inversion des jeux par les variations de la puissance, les bombements d'axe se formeront dans les chaînes les plus rétrécies entre les serres, qu'il s'agisse de plis de fond ou de plis ordinaires, et dans les cas majeurs, comme celui de l'Asie, l'exaltation axiale, dépassant tout ce qu'a pu produire ailleurs l'intervention de facteurs unilatéraux, atteint au plus haut degré connu sur notre Terre. Qu'on ramasse tous ces exemples américains et tous ceux de l'Ancien Monde que je dois plus complètement esquisser dans un instant, et nous aurons le dossier d'un grand procès. Il n'y a pas, dans cette exaltation ou dans cet abaissement des chaînes, de mouvements verticaux purs qu'on puisse déceler en grand et isoler du plissement. Plus les plis se rétrécissent, plus ils s'exaltent, toutes choses égales d'ailleurs. Il est évident que si l'explication était dans des mouvements verticaux purs largement distribués, ces mouvements devraient, dans tous les cas dont nous parlons et dans quelques autres, avoir affecté simultanément et dans le même sens, d'une part un vieux massif, d'autre part le seul segment de chaîne qui, par sa position, eût pu être influencé tangentiellement par ce massif souvent très distant. Les mouvements épirogéniques de ce genre auraient, en outre, joué de manière à contre-faire, dans leur distribution et dans leur intensité, tous les jeux verticaux qu'on peut attendre des actions tangentielles les plus compliquées et les mieux prescrites par l'agencement des espaces qui interviennent dans chaque cas particulier. Ce serait demander à des mouvements épirogéniques beaucoup de fidélité, beaucoup de constance dans l'imitation. Est-ce à dire que nous devons nous refuser à admettre là, en un certain sens, de vrais mouvements verticaux ? Non, mais puisqu'ils ne peuvent être distingués des effets verticaux du plissement, c'est ou bien qu'ils n'existent pas, ou bien qu'ils se distribuent, en grand, à peu près, comme ces effets, et alors ils s'y rattachent en quelque manière : ce sont toujours, en fin de compte, des effets verticaux du plissement. Disons donc que l'exaltation et l'abaissement des axes, saisis dans leur mouvement même, ne sont qu'un des aspects verticaux du plissement en acte.

Il y a bien, sans doute, les jeux isostatiques. Mais qu'ils se distribuent ou non comme les effets verticaux immédiats du plissement, nous montrons, en dépit des premières apparences, qu'on n'en connaît aucun qui ne puisse être rattaché, directement ou indirectement, à des déformations dans lesquelles prévalent ou ont prévalu les effets horizontaux. Il n'est pas de jeu isostatique actuellement décelable qui ne reconnaisse pour cause, ou pour condition antérieure, une déformation du genre que je viens de dire.

Le problème des très larges aires à petits mouvements verticaux demeure provisoirement entier : nous ne manquerons pas de l'aborder.

En prenant de la courbure, les plis de fond cassent comme un pli ordinaire, mais avec plus de grandeur dans les effets puisque le milieu est tout ensemble plus vaste, plus doté d'énergie et moins plastique. Ce qui, dans un pli ordinaire, est une faillette plus ou moins verticale traversant, avec quelques mètres de rejet, une centaine de mètres de bancs durs, devient ici une fracture de grand rejet qui recoupe toute la masse visible. On conçoit le danger de prendre ces cassures pour des failles radiales et la difficulté de prouver l'existence de dislocations radiales dans les régions à plis de fond. L'apparente analogie des deux affaires peut aller très loin. Qu'on se représente un pli de fond ou encore une série de ces objets commençant à jouer. La surface du pays ressemble à une large houle, mais trop de tensions naissent dans ce milieu figé pour que les choses ne cassent point, et dans le plus grand style : des voussours larges ou étroits, qui sont cette fois des *voussours de plis de fond*, dominent des paquets voisins qui s'affaissent ; d'autres s'abîment entre des compartiments qui en deviennent saillants. Ce sont bien, en un sens, des horsts et des fossés, et la différenciation de ces objets, simple détail dans le plissement de grand rayon, n'empêche pas ce plissement de continuer ; de nouvelles tensions naissent, avec de nouvelles failles, de nouveaux horsts, de nouveaux fossés ; les dislocations cassantes de la première phase sont remaniées et le jeu peut ainsi continuer, de phase en phase, très longtemps, sans que la forme générale des plis de fond disparaisse. Bien au contraire, et sauf effets secondaires, elle s'accroît à mesure que le temps passe ; c'est que cette forme, qui remue de si grandes épaisseurs de matière semi-plastique, n'est encore que superficielle à l'égard du tréfonds plastique qui la crée et la ranime bien des fois par ses jeux ; c'est que ces cassures, malgré les importants rejets qu'elles peuvent présenter, sont, elles aussi, tout compte fait, de surface et ne sauraient pénétrer ni subsister dans le tréfonds : et la cause de tant de jeux pliants ou cassants, c'est un effort tangentiel.

Il en est de même, au surplus, pour les chaînes, géosynclinales ou non, qui jouent dans leur premier cycle : le rapport des cassures aux plissements est de même nature que dans les plis de fond et les différences, qui tiennent à une plasticité plus grande en moyenne, n'ont rien d'essentiel. Or

l'ensemble des terres que nous connaissons est fait de telles chaînes et, pour une part notablement plus grande, de plis de fond : il n'est nullement certain qu'il s'y rencontre beaucoup plus que des structures réductibles à ces deux grands types. On conçoit d'ailleurs aisément, en évoquant divers jeux plastiques, que tout plissement ne procède pas directement d'un effort tangentiel, mais passons cette affaire. En pliant, les choses cassent par places ; cela, nous le savons très certainement, et les mille nuances du jeu permettent de couler, en une seule vue synthétique, d'innombrables faits. Devant cette harmonie où tout se fond sans se perdre, où tout s'enchaîne dans un ordre entièrement souple, le hasard s'évanouit, le chaos recule.

Il n'est donc, sur cette planète, aucune fracture, aucune flexure dont l'origine radiale soit, de nos jours, au-dessus de toute contestation. Il en est de même des mouvements épirogéniques et, plus généralement, de tout mouvement vertical pur. En sondant plus à fond, on verrait que la faveur rencontrée par ces explications tient à une économie de pensée : il est plus facile de voir à une ou à deux dimensions qu'à trois, pour ne rien dire du temps. L'avenir dira peut-être si ces jeux purement verticaux opèrent, ou s'il n'y faut voir que la marque d'une certaine déficience de l'intuition du mouvement et de l'espace.

Je n'entends pas, il va de soi, soutenir en rigueur qu'il n'existe pas de dislocations radiales, ou de mouvements à grand rayon indépendants des plissements. Qu'on établisse la réalité de ces choses ; qu'on montre leurs jeux en train de se superposer à ceux des plissements : je serai enchanté de ne m'être refusé à aucun des aspects de cet univers, dont la complexité m'est chère. J'entends bien ne me priver d'aucun des tours opératoires reçus en bonne tectonique, et l'on voit que j'en ajoute quelques-uns. Ce que je veux dire, c'est que l'image des jeux de failles, étant par essence une vue du discontinu, peut servir à fabriquer des modèles mécaniques, à forger des systèmes gros ou petits, mais ne saurait suffire à de vraies synthèses. Il ne s'agit pas de renoncer aux jeux de failles, mais de les voir à leur place, dans la déformation continue qui les enveloppe. La tectonique doit être la vue, puis la science des déformations, avant d'être celle des dislocations : c'est une nécessité inhérente au jeu même.

Dans les milieux qui interviennent en tectonique, il n'y a jamais compression sans tension. Quand il s'agit d'un plissement, quelle qu'en soit la courbure, la compression commence le jeu et sans s'arrêter le poursuit après que les premières tensions incitées par elle ont été satisfaites par des fractures ; ce faisant, elle déclenche de nouvelles fractures et ainsi de suite. Toute fracture née en milieu comprimé est subordonnée à la déformation comme la surface est subordonnée au volume. Comment un milieu déformable et même assez plastique, soumis à une compression générale, peut être en même temps, sur des points particuliers, le siège de

distensions, c'est ce que fait voir, sans théorie, n'importe quel glacier avec ses crevasses.

L'évolution d'un pli de fond peut en rester au stade de bourrelet plus ou moins dissymétrique dressé au-dessus des entours ; quand elle va jusqu'au charriage, ce bourrelet, qui a déjà gauchi vers l'avant et vers le haut, continue à se marquer à la face supérieure et antérieure de la masse charriée. Il persiste en continuant à se déformer ; il peut prendre des étirements dans le conflit avec les masses voisines. Mais il a préludé au charriage. Il exprime précisément l'antériorité de la déformation continue par rapport au charriage cassant : il en est le *renflement préliminaire*, avons-nous dit ailleurs. Cet objet, du reste, est fréquemment liquidé par l'érosion, à laquelle sa position avancée et sa saillie l'exposent particulièrement. Les charriages par lesquels un pli de fond, incapable, à l'ordinaire, de s'exagérer en un pli notablement couché, satisfait une partie de ses tensions intérieures, sont évidemment des charriages cassants. Je ne vois pas aujourd'hui qu'il puisse se former, aux dépens de vieux bâtis figés, de charriages cassants un peu importants sans renflement préliminaire, c'est-à-dire sans un pli de fond comme dispositif de départ. La déformation peut être aussi petite qu'on voudra ; elle peut devenir pratiquement négligeable pour certains jeux presque rigides, et notamment pour des objets de petite dimension qui cassent à la surface du pays ou dans la sub-surface ; elle ne saurait l'être jamais en grand, car il n'y a pas de milieu entièrement dénué de plasticité.

Le style en plis couchés est en somme exclu de ces remaniements du vieux bâti, mais il peut se développer dans la couverture quand cette dernière est placée dans des conditions qui lui assurent une suffisante plasticité. Par la multiplication des surfaces de charriage, le côté externe d'un pli de fond peut se décomposer en un certain nombre de paquets charriés, coins glissants et rigides qui continuent à transporter à l'avant leur renflement préliminaire. Quand des plis de fond se produisent à l'extrême marge continentale, au bord d'un géosynclinal très actif, il peut leur arriver d'être recouverts par des nappes qui en sortent : c'est le cas de ces modestes plis de fond que sont les massifs hercyniens de la première zone alpine, et de cet autre pli de fond bien plus considérable qu'est l'*Himalayan zone*.

Les plis de fond n'étant que des intumescences tard venues, surgies d'un avant-pays, n'ont pas nécessairement, comme il arrive aux chaînes issues de géosynclinaux, un avant-pays qui leur soit hétérogène, c'est-à-dire fait de plis encore plus anciens que ceux qui en remplissent le cœur. En ce délicat problème il y a, dans le matériel appelé à jouer, au moins trois types d'agencement concevables. Le vieux pays à l'intérieur duquel surgit un pli de fond peut-être tectoniquement hétérogène, les fragments les plus anciens ayant une rigidité supérieure à celle des plis moins vieux

qui les bordent ; il peut être hétérogène, ces fragments ayant même rigidité moyenne que leurs entours ; il peut être tectoniquement homogène, c'est-à-dire fait de plis d'un seul cycle.

Dans le premier cas, le bord particulièrement résistant des très vieux fragments provoquera la naissance de plis de fond aux dépens des masses voisines de vieux plis un peu moins figés, et ces plis de fond auront, en un sens très réel, un *avant-pays reviviscant*. Ainsi se comportent parfois, en Asie, le bord des grands massifs antédévonien par rapport aux plis de fond d'âge alpin et de matériel hercynien, et le bord des grands massifs précambriens à l'égard des plis de fond d'âge alpin à matériel de vieux plis paléozoïques.

Dans le second et le troisième cas, le bord externe d'un pli anticlinal de fond pourra marquer, devant un pays de même composition mais moins déformé, la limite momentanément atteinte par un effort particulier ; ce bord pourra encore résulter de l'influence exercée, à travers une certaine largeur de vieux plis, par un avant-pays reviviscant plus ou moins distant et particulièrement endurci : on verra que ce genre d'influence a été exercé avec une grande efficacité par le massif sibérien.

Il y a donc cinq espèces de jeux auxquels s'ajoutent ceux qui peuvent résulter d'hétérogénéités secondaires, telles que la présence de grands batholithes entourés de plis morts moins rigides.

Au total, les plis de fond ne sortent point de géosynclinaux, mais de vieux socles antérieurement plissés et figés. Des chaînes entières, avec des reliefs énormes et d'importants charriages se font ainsi *sans géosynclinal*, à même les aires continentales. Que ce soit sous un mince feuillet de mer épicontinentale, ou sous des flaques d'eau douce, ou tout-à-fait à sec, ces différences de surface n'importent guère ; elles ne changent rien au mouvement ni au fait essentiel. *Dans le plissement de fond, c'est la masse continentale elle-même qui plie.*

La matière des plis de fond est moins plastique, dans les hauts en tout cas, que celle des chaînes *neuves*, c'est-à-dire des chaînes qui jouent dans leur premier cycle ou sous-cycle. Les chaînes neuves, qu'elles soient du type géosynclinal ou du type circumpacifique, comportent en effet une proportion élevée de sédiments encore très plastiques, lesquels manquent tout-à-fait aux plis de fond. A volume égal, les plis de fond exigent donc plus d'énergie que les chaînes neuves. D'autre part, le volume des premiers, par toute la Terre, est bien des fois supérieur à celui des secondes : l'énergie consommée par les plis de fond est donc un *multiple élevé* de celle qui plisse les chaînes neuves. Il s'ensuit que la prépondérance énergétique souvent attribuée aux chaînes neuves, et notamment aux chaînes issues de géosynclinaux, n'existe pas. *La prépondérance énergétique appartient, avec de bien autres dimensions, au plissement de fond, qui est non seulement la réaction spécifique des continents à l'effort tangentiel, mais encore la principale manifestation du plissement sur cette planète.*

XI

Le duel de l'Indo-Afrique et de ce qui devait être l'Eurasie durait, avec des intermittences, depuis le Cambrien. Il s'était poursuivi dans le reste des temps paléozoïques et nous en avons relevé les traces jusque dans le géosynclinal himalayen. Avant les derniers temps primaires, la vieille Eurasie était faite, et d'un seul tenant. Les géosynclinaux paléozoïques étaient comblés. Les plissements calédoniens avaient travaillé à unir les môles précambriens ; les plissements hercyniens avaient parfait la soudure. Une certaine parité se marquait dès lors entre l'Eurasie et l'Indo-Afrique, mais l'Eurasie demeurait incomparablement moins homogène. C'est dans ces conditions nouvelles que le duel devait durer dans le cycle alpin, et de nos jours il n'est peut-être qu'assoupi. Le combat tantôt rallumé, tantôt ralenti, tantôt rompu par des reculs accompagnés de tractions distensives, tantôt décalé par des déplacements longitudinaux des serres, embrassait, de l'Assam à l'Europe occidentale, un front de 12.000 kilomètres dans le prolongement duquel se plaçaient, à l'ouest, d'autres milliers de kilomètres entre la Laurentia et le massif brésilien-guyanais. Au début du cycle, l'Indo-Afrique et l'Eurasie n'allaient pas tarder à se compartimenter ; les anciens segments, à se diviser en segments plus courts dont le nombre devait augmenter avec le temps, et qui devaient se spécialiser en des taches de plus en plus particulières. A mesure que les temps passaient, des plis de fond et des cassures diverses apparaissaient dans les deux serres ; les plis s'accroissaient et s'allongeaient ; les fractures se multipliaient et s'étendaient. Dans chaque segment de poussée, et pour les plis de fond comme pour les chaînes géosynclinales, les offensives partielles se traduisaient, dans le sens horizontal, par des arcs qui marquaient à chaque instant la limite atteinte par l'effort ; dans le sens vertical, par un comportement déterminé des axes, exaltation ou abaissement, avec des oscillations secondaires. Aux deux ailes d'un arc, ou à une aile seulement, des jeux de flanc devenaient possibles ; comme ils étaient, à l'ordinaire, fortement contenus, les plis attaquants se serraient, vers l'extrémité de l'aile, en virgation. Entre tous les diamètres de poussée, ceux qui passaient à la limite commune de deux segments se distinguaient, en plan par des rebroussements ou par des inflexions, en élévation par des jeux d'axe particuliers. Voilà donc, aperçus en mouvement, quelques-uns des plus grands aspects de la lutte.

Au Mésozoïque ancien, la segmentation nouvelle est amorcée. Des cassures commencent à jouer dans le continent de Gondwana : un massif indien s'esquisse en traits que le temps accentuera. La dépression de l'Ob à la mer d'Oman s'ébauche, et plus tard s'affirme : qu'elle soit, à tel moment de son histoire, plus ou moins occupée par des mers ou remise à sec, ce n'est point l'affaire ; il suffit qu'une zone faible partage, désormais, la vieille Eurasie en deux moitiés. A l'ouest, c'est la vieille Europe ; à

l'est, la vieille Asie ou Terre de l'Angara. L'une et l'autre étaient profondément usées par les érosions post-hercyniennes. Pendant tout le Mésozoïque et le Nummulitique, la vieille Europe sera balayée par des transgressions et des régressions marines ; la Terre de l'Angara, mieux maintenue, ne connaîtra ces balancements qu'à son pourtour. Cette antithèse si connue, et point expliquée jusqu'ici, révèle un jeu tangentiel à l'état embryonnaire, et pourtant de la plus imposante grandeur. Toute la vieille Eurasie gauchit en un complexe de plis de fond immensément larges et très aplatis. Le segment de poussée qui comprend la Terre de l'Angara et l'Inde a certainement disposé, pendant les paroxysmes tertiaires, d'une énergie bien supérieure à celle qui œuvrait dans le segment qui embrasse la vieille Europe, d'une part, l'Afrique et l'Arabie de l'autre. On voit que cette différence, pendant le gros des temps précurseurs alpins, a été de même sens. Les deux segments marquaient de l'exaltation axiale, et le segment de l'Angara plus que le segment européen : la différence d'altitude axiale n'excédait point, en moyenne, quelques centaines de mètres, mais elle était réelle et l'on voit se marquer faiblement, dès les temps secondaires, un des très grands traits que la suite des jeux orogéniques devait accentuer. Entre ces deux bombements axiaux il y avait un ensellement qui n'était autre que la dépression de la mer de Kara à la mer d'Oman.

Outre ces plis de fond extrêmement aplatis, il y avait à la marge sud de la Terre de l'Angara des plis de fond un peu plus marqués, mais bien faibles encore et légèrement en avance, dans le temps, sur les précédents : ce sont ceux dont nous avons marqué les jeux subtils dans la partie du Kouen-Lun qui fait face à l'Inde aujourd'hui péninsulaire. En un certain Mésozoïque ancien, ce grand môle donc commençait à se différencier du reste de l'Indo-Afrique et la discordance qui sépare, en divers points du bouclier indien, les couches supérieures des couches inférieures de Gondwana l'atteste indépendamment des considérations si délicates dans lesquelles nous sommes. La précédence et la plus grande intensité des plis de fond embryonnaires, tout au sud du segment de la Terre d'Angara qui fait face à l'Inde, ont des chances d'être explicables, pour une partie, par un commencement de synergie entre ces deux objets.

La chronologie des paroxysmes tertiaires, en Asie, est encore si peu élucidée dans ses dates précises, variables selon les lieux, qu'à vouloir considérer les jeux, on sera inévitablement amené à projeter les uns sur les autres des événements de date un peu différente, comme en un raccourci des temps. Mais à bien voir tout ce qui se fait en géologie, il en est toujours plus ou moins ainsi, dès qu'on s'occupe de durées et non plus d'instantanés. L'inconvénient dont nous parlons est d'ailleurs amoindri jusqu'à un certain point, dans les grands cas qui nous occupent, par une relative homogénéité de jeu et de style, grâce à quoi les épisodes ainsi ramassés dans

la vue globale d'un certain laps de temps ne sont point nécessairement disparates. Au reste la fine tectonique, qui conduit parfois, je n'ai pas à dire ici comment — à faire de bonne stratigraphie sans fossiles, sait aussi découper dans la durée, sans dépôts datables, des phases dont on connaît au moins l'ordre de succession. Il est souvent possible d'appuyer cet ordre, par l'un ou l'autre de ses linéaments, à quelque repère de la chronologie stratigraphique régulière, même quand les dépôts datés sont très clairsemés.

En un certain laps de temps compris dans les paroxysmes, l'affrontement des serres et l'obturation de la Téthys par les chaînes géosynclinales ont été suffisamment poussés pour que s'établît, entre l'Indo-Afrique et la vieille Eurasie, un état de synergie beaucoup plus parfait qu'avant cette soudure. La durée coulant, cette solidarité dynamique s'affirmait de plus en plus : c'est ce flux mouvant qu'il nous faut contempler ; c'est dans cette continuité qu'il nous faut, quand il se peut, discerner des phases et marquer des coups.

Mesurons du regard, des plaines du Gange à l'Océan Glacial, du Pacifique à la dépression touranienne, l'étendue des vieilles terres d'Asie. Sur un front d'au moins 2600 kilomètres, de Peshawar à la pointe de l'Assam, l'Inde péninsulaire fonce au nord-nord-est ou au nord-est vers la Terre de l'Angara. De tous les fronts partiels qui s'allongent du Pacifique à l'Europe, celui-là est le plus doté d'énergie tangentielle : aussi les chaînes de la Téthys, bientôt asséchées, exaltent leur bombement axial, dans le Tibet et dans l'Himalaya, au-dessus de tout ce qui arrive ailleurs.

Entre la ligne qui de Yangi-Hissar à l'angle sud-ouest de l'Ordos jalonne sur 3000 kilomètres le pied nord de l'arc de Yarkend, de l'Altyn-Tag et du Nan-Chan, et celle qui de l'Indus au Brahmapoutra marque le bord sud de l'Himalaya, c'est le domaine des hautes terres. La Téthys écrasée y dessine une bande médiane ; et quelque rares que soient les renseignements pour tant de régions tibétaines, on voit, au moins à l'ouest, les dépôts géosynclinaux moulés en chaîne double dont les ailes ont des déversements opposés. La *Tibetan zone*, d'où sortent des nappes déversées au sud, sur le cristallin de l'*Himalayan zone*, est un élément essentiel de l'aile sud. Les plis alpins qui, entre le Karakorum et les vieux terrains de l'arc de Yarkend, sont refoulés contre ce dernier, appartiennent à l'aile nord. Les deux marges, qui appartiennent déjà aux serres, sont moulées en puissants plis de fond : au nord le Kouen-Lun occidental et moyen, c'est-à-dire l'arc de Yarkend, puis l'Altyn-Tag et le Nan-Chan avec leurs arrière-chaînes, se portent vers le nord, comme nous l'allons voir ; au sud, l'*Himalayan zone* est poussée au sud, et serait le seul grand pli de fond de la bordure du continent de Gondwana, s'il n'y avait eu, pendant le cycle alpin, d'importants gauchissements des Alpes Australiennes, et les énormes bousculades, venues de l'ouest, qui à plusieurs reprises ont si puissamment retravaillé ces plus vieilles Andes paléozoïques qui courent

à l'avant des vraies Andes et constituent, dans la République Argentine et en Bolivie, la bonne moitié orientale des cordillères.

L'agencement des hautes terres entre la plaine de l'Inde et les déserts du Tarim et du Kan-sou, dans la mesure où il est connu, est donc symétrique et se ramène au dispositif méditerranéen qu'il prolonge. L'effet du serrage se manifeste non seulement par cette symétrie, mais encore par l'importance exceptionnelle, même pour l'Asie, que prennent les plis de fond aux deux marges, à la marge nord surtout. Aux effets de l'énergie proprement intra-continentale viennent s'ajouter, dans les deux marges, les effets bien plus modérés de l'énergie restituée par les chaînes géosynclinales.

Ces hautes terres ne sont, à prendre l'essentiel, que l'exagération d'antiques ébauches mésozoïques : dans le géosynclinal, des sillons avaient passé, en ce segment, par un abaissement axial ; à la marge nord, des rides anticlinales, aux temps précurseurs et au paroxysme débutant, avaient marqué par leur ensemble, sinon par les détails, un bombement d'axe. Beaucoup de ces plis cherchaient sans doute à s'allonger hors du segment le plus pressé : à l'est, au sud-est et au sud, vers la Chine et l'Indo-Chine ; à l'ouest vers la zone déprimée de l'Iran et du Touran. C'est peut-être ce dernier jeu qui a amené l'exondation des dépôts nummulitiques de Sandjou vers Yarkend et de Yarkend vers Yangi-Hissar.

XII

Les faits d'écoulement et de déformation plastique, si nombreux, si compliqués, si organiquement liés, qui ont modifié graduellement les fonds et la face des continents et de leurs dépendances, ne laissent pas de s'ordonner clairement dès qu'on recourt à la considération des segments et des diamètres de flux. Nous l'entendons des plis de fond comme des chaînes neuves. Mais de l'image d'un segment à l'idée d'un diamètre, il y a la nuance ou la distance du concret à l'abstrait.

Nos *segments de flux* sont des volumes réels, remplis d'une matière soumise à un certain régime d'écoulement et de déformation. Les grands aspects qualitatifs du régime sont communs à toute la masse, mais les détails quantitatifs varient par transitions ménagées quand on passe de l'un à l'autre des diamètres que le segment est censé contenir.

La segmentation que le régime d'écoulement d'un fleuve prend sous l'influence d'un pont avec ses piles et ses chenaux libres, ou mieux encore d'un lit semé d'obstacles quelconques, irrégulièrement distribués, peut donner quelque image apparentée à celle d'une segmentation tectonique. A l'amont des obstacles, il y a montée du flux : image de l'exaltation axiale. A l'amont, au passage et à l'aval des chenaux libres, le flux se creuse ou monte moins : image d'un abaissement d'axe.

On passerait de l'image hydrodynamique à l'image tectonique en tenant

compte de la viscosité bien plus grande des flux, favorable à la conservation et même à l'accentuation, au cours d'une déformation qui dure, d'une partie des formes successivement prises ; en faisant intervenir, à des degrés divers, la bien plus grande lenteur de cette déformation ; en jouant de l'hétérogénéité du flux tectonique, entièrement fait de milieux inégalement plastiques et non miscibles, qui s'influencent mutuellement dans l'espace ; en concevant l'impossibilité d'un débit parfaitement constant, et par suite, du régime d'écoulement qu'on appelle stationnaire ; en pensant, enfin, à tout ce que je puis omettre ici, pour l'avoir dit il y a peu d'instant.

Il va de soi, en raison de la haute viscosité du milieu tectonique, que la trajectoire parcourue par un point matériel est beaucoup plus courte que les lignes de flux, tant que d'autres facteurs n'interviennent pas.

Pour ce qui est de nos *diamètres*, comme aussi, pour le dire en passant, des *lignes directrices* de la tectonique classique, ce ne sont, en général, que des fictions commodes, faites pour suggérer à peu de frais la vue d'une déformation en volume, et non pour arrêter cette vue sur des schèmes linéaires inanimés.

Les diamètres permettent de discourir du régime des plis vus en largeur, comme les lignes directrices de la vue en longueur : c'est leur utilité. Il y a des diamètres singuliers qui répondent à une variation particulièrement rapide du régime plastique : ils sont dûs, à l'ordinaire, aux singularités présentées par les massifs résistants. Ce n'est que dans des cas particuliers que diamètres et lignes directrices répondent à des réalités. Il n'y a de ligne, dans l'ordre concret, qu'à l'intersection de deux surfaces, et il n'y a de surface qu'à l'affrontement de deux volumes : l'ordre tectonique ne saurait faire exception. Les surfaces tectoniques se dessinent à la surface topographique par des lignes, mais ces fameuses lignes directrices, bonnes à conduire le regard, ne dirigent rien : il n'est pas, au contraire, de traits mieux régis par la déformation en volume. Utile en toute première approximation, et demeurée finement flexible entre les mains de son auteur, puis de quelques-uns, la notion de ligne directrice, prise d'un certain biais ordinaire à l'esprit humain, ou pour mieux dire à l'esprit de géométrie, a trop souvent abouti à de raides constructions théoriques ou graphiques, entièrement dénuées de cette vérité souple qui est le fait de la grande tectonique, ce notable élément de la beauté du monde.

Je serais donc fâché que la notion de diamètre se figeât, dans l'avenir, en un système. Je ne vois qu'un cas, bien particulier, où un diamètre soit marqué par une discontinuité : c'est le cas de décrochement proprement transversal. En passant à la délicate enquête qui nous attend, nous ne pensons ni à un découpage arbitraire, ni à un cloisonnement artificiel des espaces. Rien ne serait plus opposé au tour de notre pensée que de se la figurer emprisonnée dans un cadre de lignes géométriques. Il n'est, pour nous, que des objets mouvants auxquels nous conservons toute leur

souplesse. Qu'il soit donc clair qu'en menant un diamètre par un certain nombre de points, nous usons d'approximation, passons à la limite et sous-entendons, généralement, un segment court qu'occupe une petite longueur de plis.

XIII

A mesure des progrès de l'affrontement qui oppose le massif indien à la Terre de l'Angara, on voit se délimiter, dans les chaînes géosynclinales et dans la vieille Eurasie, un segment d'importance capitale que nous appelons, par concision, le *segment de l'Asie centrale* (Fig. 9, 10 et 12).

Il est aisé de marquer, à l'est et à l'ouest, le site actuel des diamètres qui terminent ce segment. Je dis le site actuel, parce qu'il faut compter, au cours du temps, non seulement avec un déplacement, mais encore avec une déformation des diamètres.

Il est prudent, d'ailleurs, de faire les mêmes réserves pour le site de tout autre diamètre, de toute autre ligne de référence, de tout objet tectonique concret, n'importe où sur le globe.

De la pointe orientale de l'Assam et du coude du Brahmapoutra à l'angle sud-ouest de l'Ordos vers Koung-tchang (105^e méridien), et de là à travers l'Ordos vers Koukou-khoto (112^e), puis le long des lisières orientales du Gobi du côté du Grand Khingan, en se tenant un peu à l'est de Khaïlar et de Nertchinskii Zavod, c'est le terminateur oriental. Sur la sphère, il dessine une courbe légèrement convexe à l'est-sud-est. Il répond, en plan, à la grande conversion des chaînes tibétaines vers l'Indochine et la Chine, ainsi qu'aux extrémités orientales du Nan-Chan, déviées à l'approche de l'Ordos.

Le terminateur occidental du segment de l'Asie centrale passe par le rebroussement du Jhelam, remonte d'abord au nord, en traversant la grande serrée des Pamirs, entre le 73^e et le 74^e méridien, puis s'incurve graduellement au nord-nord-est de plus en plus nord-est, en direction générale de Semipalatinsk, Barnaoul et Ienisseïsk. La courbe qu'il dessine est, sur la sphère, un peu convexe à l'ouest-nord-ouest.

L'opposition marquée par le sens de courbure des deux terminateurs fait que le segment de l'Asie centrale intercepte, dans ses latitudes moyennes, une longueur de plis d'environ 3000 kilomètres, contre 2600 à la marge sud, dans l'Himalaya, et 2000 à 2200 dans les parages sibériens. Cet allongement des parties médianes du segment tient certainement, pour une grande part, aux forces d'extension, aux tractions longitudinales qui se marquaient, dans la masse des plis, normalement à la direction de poussée, voisine du méridien. La matière, étroitement pressée entre le massif indien et le massif sibérien, gênée d'ailleurs par le massif sinien et par d'autres masses particulièrement résistantes, marquait, outre le plissement proprement dit, une tendance à s'écouler par les issues du dispositif, et notam-

ment par celles qui étaient pratiquées en long. Cet écoulement, dans les parages du terminateur oriental, portait à l'est, c'est-à-dire vers l'Asie orientale. Aux approches du terminateur occidental, il portait à l'ouest, vers le segment touranien. D'autres jeux en long ont affecté diverses parties de l'Asie centrale, mais celui-là paraît l'avoir travaillée tout entière, comme le montre la déformation des diamètres.

Le segment de l'Asie centrale, ainsi délimité, est le lieu des plus grands serrages et du même coup, des plus grandes exaltations axiales, tant pour les chaînes géosynclinales que pour les plis de fond qui nulle part, dans le reste de l'Eurasie et du monde, ne montrent tant de tonnage visible.

A l'est du terminateur oriental, tout s'abaisse et l'Asie orientale, au vrai sens tectonique, commence : ce sont des pays qui, à la vérité, pâtissent gravement du serrage indien et réagissent par divers jeux de flanc, mais qui ne reçoivent plus en plein l'attaque frontale de l'Inde. Il en est de même à l'ouest du terminateur occidental, où commence la dépression de la mer de Kara à la mer d'Oman que nous appellerons désormais, eu égard à sa fonction tectonique, et le nom de la partie étant appliqué au tout, le *segment touranien*. Il est évident que l'Asie orientale, essentiellement soumise aux jeux circumpacifiques, ne saurait être comparable de tout point au segment touranien, mais leur analogie se marque, entre autres choses, à la condition déprimée et aux jeux de flanc que ces deux régions présentent à l'égard du segment de l'Asie centrale.

XIV

Le rapprochement de l'Indo-Afrique et de la vieille Eurasie, en continuant à se prononcer, ne tarde pas à inciter, et principalement dans le bloc si hétérogène de la vieille Eurasie, des reviviscences d'anciens massifs résistants, de vieux avant-pays. Les fragments qui tiennent relativement bien provoquent à leur pourtour, par plis de fond, la déformation de ce qui tient moins. Avec le temps, ce genre d'action gagne, dans la masse des bâtis moins figés, des parages plus éloignés des noyaux reviviscents. Sauf variations locales de la plasticité, les ex-géosynclinaux hercyniens sont, à l'égard des massifs plus anciens, dans le cas de moins tenir et de rejouer en plis de fond alpins. Il en est de même, jusqu'à un certain point, des ex-géosynclinaux calédoniens à l'égard des massifs précambriens. De larges ondulations hésitantes, des déversements simples, unilatéraux, ou des déversements doubles marquent, selon l'intensité des pressions, selon leur durée et à raison de la disposition des masses, ces reviviscences par plis de fond. C'est au plissement des continents que nous assistons, et parmi les serrages particuliers qui s'inscrivent dans ce grand phénomène, il en est beaucoup, on le voit, qui se localisent dans les ex-géosynclinaux.

Il est clair que ces reviviscences, en se prolongeant, amènent de nouvelles spécialisations du régime segmentaire. Les nouveaux segments n'abolissent

pas le jeu des anciens : ils le compliquent. Ils sont plus courts, et leur longueur est commandée par celle des vieux massifs — ou des portions de vieux massifs — qui interviennent dans la reviviscence.

Qu'une telle spécialisation se soit peu à peu affirmée, à des échelles diverses, dans le segment de l'Asie centrale, on n'en saurait douter. Qu'elle soit, aux échelles les plus grandes, le fait du noyau sibérien et du massif sinien, c'est non moins certain. Qu'un troisième grand massif ancien et hypothétique, à loger sous la dépression du Turkestan oriental, ait concouru à ces jeux, ce n'est pas invraisemblable. et nous dirons pourquoi.

En attendant, menons un diamètre en direction générale de Kiakhta, Lhassa, Calcutta. Ce diamètre passe par un point singulier, où se fait, vers 97° E et 40° N, la conversion du bord du Nan-Chan à la direction qui va prévaloir, plus à l'ouest, dans l'Altyn-Tag. Il partage le segment de l'Asie centrale en deux segments que distinguent, à tous égards, leurs régimes d'écoulement et de déformation : à l'ouest le *segment indo-sibérien*, à l'est le *segment indo-mongol*.

A dater du moment où cette nouvelle segmentation prévaut, les jeux tangentiels les plus serrés et les plus grandes exaltations axiales se concentrent dans le segment indo-sibérien, à l'égard duquel le segment indo-mongol et le segment touranien, par leur jeu plus libre, gardent une condition déprimée : les flux, en s'étalant mieux, montent moins. Tel est, pour le reste du paroxysme et sans doute pour les nombreuses répliques tertiaires et quaternaires, le jeu essentiel des puissants plis de fond qui s'étendent du Touran au Gobi oriental, du Tarim et du Kan-Sou au Baïkal, et dont le Tien-Chan, l'Alataou dzoungare, le Tarbagataï, l'Altaï Russe, l'Altaï Mongol, le Khangai et le Saïan oriental marquent, dans le segment indo-sibérien, la zone de culmination axiale. Le massif de la Steppe Kirghize, dans le segment touranien, monte moins que l'Altaï Russe et le Tarbagataï. Dans le segment indo-mongol, les gauchissements transbaïkaliens montent moins que le Saïan oriental ; ceux du Gobi nord-oriental, moins que le Khangai et l'Altaï Mongol ; ceux du Gobi sud-occidental, moins que le Tarbagataï et le Tien-Chan.

Tel est aussi, à dater du même moment et à ne prendre que l'essentiel, le jeu des chaînes neuves et des plis de fond qui constituent l'intumescence tibétaine. Sa partie occidentale, qui appartient au segment indo-sibérien, est la plus rétrécie ; elle renferme non seulement les plus grandes altitudes absolues, mais encore, et ceci compte davantage, les plus grandes altitudes moyennes. Les caractéristiques inverses valent pour la partie orientale, qui est dans le segment indo-mongol ; l'étalement est bien plus prononcé, l'intumescence générale est moindre et les axes, sauf rebondissements locaux, sont en descente vers l'Asie orientale.

Nous rencontrerons bien d'autres témoignages des jeux par lesquels le segment indo-sibérien diffère du segment indo-mongol, mais on devine, dès

maintenant, que la reviviscence du noyau sibérien entre pour beaucoup dans la détermination de ces différences. Le noyau sibérien, avec ses 1000 à 1200 kilomètres de front utile, n'est opposé, géométriquement, qu'à l'aile occidentale du front indien beaucoup plus long. et quoi qu'il puisse s'interposer entre la Sibérie et cette aile occidentale de l'Inde, il est constant que la partie orientale du massif indien fait face à des massifs moins figés, en moyenne, et moins capables de tenir que le noyau sibérien. Tout ce que nous avons dit du segment indo-mongol atteste cette moindre résistance. Dans ce même segment, l'avancée des arcs du Nan-Chan, convexes au nord-est, l'atteste également.

Est-ce à dire que dans le segment indo-sibérien, aucun grand massif très ancien, très résistant, n'ait renforcé la synergie qui régnait entre le noyau sibérien et la partie occidentale du massif indien ? La réponse à cette question dépend, dans une grande mesure, du rôle qu'on peut attribuer, dans les jeux reviviscents, aux faîtes compris entre le noyau sibérien et la Dzoungarie, ainsi qu'au fond, caché par des dépôts récents, de la dépression du Turkestan oriental. Cette dépression, la *Sérinde* des géographes alexandrins, est entièrement contenue dans le segment indo-sibérien ; elle en occupe, des environs de Kachgar à ceux de Sa-tcheou, du 75° au 95° méridien, à peu près toute la longueur. De ce fait, le segment indo-sibérien se cloisonne, suivant la longueur des plis, en trois espaces allongés d'ouest en est. Ce sont, en comptant du sud au nord : l'*espace indo-sérindien*, identique à la portion occidentale de l'intumescence tibétaine ; l'*espace sérindien* ; l'*espace sérindo-sibérien*. Le bord sud des plaines de la Sérinde, au pied de l'arc de Yarkend et du Kouen-Lun moyen, marque approximativement la limite commune aux deux premiers espaces ; le bord nord des plaines, au pied sud du Tien-Chan, joue le même rôle à l'égard des deux derniers. Le bâti profond de l'espace sérindien étant, dans sa plus grande partie, soustrait à l'observation, et pour le reste, à peu près inconnu, il est clair que le rôle tenu par ce socle ne peut guère être apprécié, pour l'heure, qu'à raison de l'influence qu'il a pu exercer sur la déformation des espaces indo-sérindien et sérindo-sibérien.

XV

La dépression sérindienne a la forme d'une amande dont la longueur s'aligne à peu près sur le 40° parallèle. Elle est assez convenablement représentée par un pentagone irrégulier dont deux côtés appartiennent au périmètre sud et trois au périmètre nord. Le côté sud-est, des environs d'An-hsi-tcheou ou de Sa-tcheou à ceux de Keriya, du 96° au 82° méridien, est bordé par un faux front en réalité fait de diverses chaînes diversement nommées, auxquelles nous appliquons, pour simplifier, le nom collectif d'Altyn-Tag. Le côté sud-ouest, du 82° au 75°, est bordé par l'arc de Yarkend. Le périmètre nord est entièrement bordé par le Tien-Chan et ses

annexes ; nous y reconnaissons un côté nord-ouest, du 75° au 81° à peu près ; un côté nord, le plus court de tous, de là au 86° ; un côté nord-est, du 86° au 96° environ.

Les plis de fond, qui enclosent en totalité l'amygdale sérindienne, marquent dans leur jeu, pour chacun des cinq côtés, des analogies et des différences qu'il vaut la peine de relever. Ces faits bien visibles conduisent, pour l'interprétation du jeu des espaces indo-sérindien et sérindo-sibérien, à des certitudes, et pour celui des fonds sérindiens, à rétrécir le champ des hypothèses, assez nombreuses, qu'on peut faire à ce sujet.

Ces hypothèses, quelles que soient leurs nuances, se laissent d'ailleurs ramener à deux vues principales : les fonds sérindiens invisibles sont de même constitution, de même plasticité moyenne que les fonds visibles dans les montagnes de bordure, Tien-Chan et Kouen-Lun, ou ils sont de constitution différente et de plasticité moindre, ce qui implique presque certainement l'existence d'un massif précambrien, homologue du massif sinien et caché en profondeur sous la Sérinde entière, ou sous une partie seulement. Je passe une troisième conjecture, celle qui ferait de la dépression en amande une boutonnière d'extension, due à des tractions disjonctives dont l'intensité maximum se serait fait sentir à peu près le long du 82° méridien, avec décroissance vers les deux extrémités. Cette troisième hypothèse ne peut être sérieusement envisagée qu'en la combinant, dans le temps, avec l'une des deux premières.

Il nous semble clair qu'au cas où des virgations viendraient, dans les montagnes de bordure, à encadrer la Sérinde, ce seraient, si la première hypothèse est vraie, des virgations du premier genre ; si c'est la seconde, des virgations forcées, ou du deuxième genre.

Le côté sud-est de la Sérinde est flanqué d'une puissante virgation du deuxième genre, qui embrasse l'Altyn-Tag avec une grande partie de ses arrière-chaînes et qui se prolonge en s'ouvrant, vers l'est, de manière à occuper, sur toute la longueur du segment indo-mongol, le Nan-Chan et ses arrière-chaînes. C'est le jeu de cet ensemble, la *virgation du Kouen-Lun moyen*, qu'il faut d'abord pénétrer.

Quel est, dans cette vaste région qui comprend une bonne partie de l'intumescence tibétaine, le sens général de l'écoulement des flux ? Remarquons que le déversement des vieux plis morts, quel qu'en puisse être le sens, n'a aucune importance quand il s'agit d'apprécier celui des plis de fond alpins qui s'imposent après coup. Des lambeaux de couches de l'Angara pincés dans le bâti ancien des monts Richthofen marquent un renversement au nord-est. Cet indice est précieux, mais si localisé, au regard de l'immense étendue du dispositif, qu'on ne saurait, sans excès, en généraliser la signification. La convexité générale des arcs du Nan-Chan, dans le segment indo-mongol, n'est pas à elle seule un témoignage suffisant. Les deux indices gagnent au rapprochement ; ils se corroborent, sans qu'il y ait de quoi emporter une conviction.

Mais passons à des interprétations plus décisives, et d'un tour plus nouveau.

La conversion du bord des grandes chaînes se fait, à peu de chose près, au croisement du 97° méridien et du 40° parallèle. Or c'est en ces parages que passe le diamètre commun aux segments indo-mongol et indo-sibérien. La rencontre ne saurait être fortuite. Elle atteste, pour le front nord du Kouen-Lun moyen, la différence entre les régimes d'écoulement propres à chacun des deux segments. A considérer la masse entière du dispositif, et non plus seulement le front, on voit s'accuser mieux encore ces différences. A l'est du diamètre, le Nan-Chan et ses arrière-chaînes, jusque bien au sud du Tsaidam oriental, sont caractérisés par le parallélisme approché, par l'espacement assez bien réglé des éléments plissés, où domine la direction du sud-est, un peu est, au nord-ouest un peu ouest. A l'ouest du même diamètre, le bord du dispositif, identique au côté sud-est de la Sérinde, s'aligne à l'ouest-sud-ouest jusqu'au 82° méridien, environs de Keriya : ce sont d'abord, jusqu'au 95°, les extrémités déviées des chaînes septentrionales du Nan-Chan ; c'est, ensuite, ce faux front qui sous des noms divers, Anembar-oula, Altyn-Tag, Chaîne Russe, n'est fait que des extrémités déviées des chaînes intérieures. Ces chaînes, d'abord parallèles et alignées ouest-nord-ouest comme dans le segment indo-mongol, dévient finalement à l'ouest-sud-ouest en se conformant au bord de la Sérinde, et la déviation commence sur des méridiens d'autant plus occidentaux que les chaînes sont placées plus au sud.

Le dispositif entier est donc une virgation du deuxième genre, dont le segment central, Nan-Chan et arrière-chaînes, appartient au segment indo-mongol, où les flux trouvent un écoulement relativement aisé, et dont l'Altyn-Tag, avec son faux front fait d'échelons relayés, avec ses arrière-chaînes aussi, est l'aile gauche, entièrement formée en gerbes de plus en plus serrées vers l'ouest.

Le flux profond qui porte le Kouen-Lun moyen s'écoule donc essentiellement au nord-est un peu nord. Les filets d'écoulement conservent cette direction, ou peu s'en faut, dans le segment indo-mongol où ils s'engagent ; mais à la gauche, ils sont déviés, à l'approche de la Sérinde, au nord-nord-ouest en passant par le nord. Ainsi diminue, par rapport au bord sud-ouest de la Sérinde, l'obliquité de l'abordage. L'aile gauche de la virgation s'en trouve fortement contenue. Il est donc clair qu'une résistance considérable se marque le long de ce bord de la Sérinde.

La question de savoir jusqu'où se fait sentir, à l'amont, c'est-à-dire au sud, dans le grand intérieur tibétain, cet appel de matière vers le nord-est, est de détail et non de principe. Cette grande virgation du Kouen-Lun moyen est essentiellement faite de plis de fond, mais il se peut, si l'appel est encore sensible très au sud, qu'elle comprenne quelques éléments plissés d'origine géosynclinal. En tout cas, elle représente un important élément



de l'aile nord, mue vers le nord, de la chaîne double méditerranéenne. C'est le faisceau de plis de fond qui souligne, à même le bord sud de la vieille Eurasie, le train de l'aile nord proprement géosynclinal.

Il va de soi que le sens d'écoulement des flux profonds, révélé par la planimétrie, ne préjuge pas le sens de déversement de tel pli en particulier. Cette question ayant été traitée sous son aspect général, il est superflu d'y revenir.

Le bord sud-ouest de la Sérinde est affronté par l'arc de Yarkend. La dissymétrie acquise, pendant le cycle alpin, par ce grand pli de fond, comporte évidemment un versant raide à regard nord-est, face à la Sérinde. En arrière paraissent, vers les marges du Karakorum, des plis alpins à éléments géosynclinaux. C'est l'aile nord de la chaîne double ; l'arc de Yarkend lui-même appartient au cortège de plis de fond qui la borde. Les filets d'écoulement portent au nord-est, en plein contre la Sérinde.

Sur toute la longueur du périmètre sud de la Sérinde, pratiquement identique à la longueur du segment de l'Asie centrale, s'affirme donc la dominance de l'écoulement au nord-est, ou au nord-est un peu nord. La virgation du Kouen-Lun est d'ailleurs l'argument essentiel, sans lequel les autres indices, trop clairsemés, ne pourraient, de nos jours, être coordonnés utilement. Cette direction est évidemment celle qui a dominé, tantôt dans sa pureté, tantôt à l'état de composante, au cours des longues vicissitudes qu'a comporté le rapprochement du massif indien et de la Terre de l'Angara.

XVI

Le bâti hercynien dans lequel les plis de fond alpins ont moulé le Tien-Chan a connu, au temps de sa jeunesse, au moins deux paroxysmes, l'un d'âge dinantien inférieur, l'autre d'âge post-dinantien. Ces plissements ont abouti à l'émersion de la plus grande partie du faisceau, exception faite, cependant, d'un sillon plus ou moins complexe qui a persisté entre les plis partiellement émergés, au nord, et la Sérinde, au sud. On connaît ce sillon, sur d'assez grandes longueurs, auprès du bord nord-ouest de la Sérinde. Il n'a émergé qu'ensuite de répliques postérieures, d'âge probablement permien. Ces relations ne peuvent manquer de suggérer l'idée d'une chaîne poussée au sud, chaîne qui s'est d'abord constituée au nord, puis complétée d'un faisceau plus externe, aux dépens d'un sillon qui était une avant-fosse. Voilà une raison de plus de penser que la Sérinde a été, pour cette chaîne, un avant-pays anté-hercynien.

Pour pénétrer le jeu des plis de fond alpins qui ont créé le Tien-Chan actuel, il faut d'abord considérer les choses à la plus grande échelle. On voit alors que le Tien-Chan tout entier appartient à l'aile gauche d'une immense virgation double du deuxième genre ; que l'Oural, avec d'autres objets qui n'importent pas pour le moment, appartient à l'aile droite ; que

le segment central de cette virgation s'identifie au segment touranien, Iran excepté, et couvre la Sibérie occidentale ainsi que le Touran.

Une remarquable liberté de jeu, avec dominance de l'écoulement au sud-sud-ouest et au sud, distingue le segment touranien, ce long couloir propice aux plissements du style le plus large, du segment de l'Asie centrale, encombré par les massifs indien, sérindien et sibérien, et du segment plus occidental qui loge le fond anté-hercynien de la plateforme russe, le massif podolien et le massif arabe. On l'entend des chaînes jeunes de l'Iran comme des plis de fond qui se forment plus au nord. Cette liberté relative est attestée par la convexité à peu près générale que marquent, dans le sens de l'écoulement dominant, les plis de toute espèce ; par le moindre serrage qu'ils éprouvent en moyenne, d'où leur large espacement, leur douceur relative, leur étalement en largeur et l'ensemble presque parfait avec lequel ils gardent une condition axiale moins exaltée que dans les deux segments limitrophes, vers lesquels tout se relève de part et d'autre.

Les déversements au nord qui paraissent dans l'arc iranien septentrional et dans l'Hindou-Kouch sont dus, comme tous les jeux de chaînes géosynclinales, à des dérivations secondaires d'énergie, cantonnées dans les étages supérieurs du flux plastique, bien autrement profond et puissant, qui travaille la masse entière des continents et s'y exprime, vers le haut, en plis de fond. Que cette dérivation soit due à une sorte de poussée au vide vers une dépression bactrienne préexistante, ou à un très ancien massif bactrien qui d'ailleurs se placerait convenablement en ligne avec les massifs sinien, sérindien et podolien, présenterait comme eux une disposition en amande et comme eux jouerait le rôle d'avant-pays de l'aile nord de la chaîne double et de ses plis de fond, c'est concevable, mais cette conjecture, pour intéressante qu'elle soit, ne peut rien changer à ce que nous allons dire des jeux essentiels de la virgation touranienne.

Le diamètre central de la virgation, identique au diamètre central du segment touranien et au fil de l'écoulement le plus aisé, passe en direction générale de Omsk, ouest d'Akmolinsk, est de Perovsk, Boukhara ; il traverse l'Iran à peu près suivant le 63^e méridien. Sa courbure, sur la sphère, est un peu convexe à l'ouest-nord-ouest, comme pour le terminateur occidental de l'Asie centrale : un certain groupe de causes déformatrices communes intervient, de la même manière, dans le volume qui comprend les deux diamètres ; retenons l'indice. Le sens de l'écoulement, au centre, passe graduellement du sud-sud-ouest au sud, à mesure que décroît la latitude actuelle. L'amont est au nord, l'aval au sud. Au segment central de la virgation appartiennent, nous l'avons dit, le Touran et la Sibérie occidentale. Nous avons dit également les caractères généraux des plis de fond qui remplissent tout cet espace, et dont le matériel mort est généralement hercynien, avec un nombre inconnu de fragments plus anciens. La plus grande partie est enfouie sous des couvertures dans les-

quelles prédominent, en surface, les terrains tertiaires et quaternaires. Les gauchissements que les progrès de l'analyse ne manqueront pas de révéler dans ces couvertures éclaireront peu à peu les détails du jeu, dont l'ensemble est attesté par les dorsales et les voussours qui de loin en loin surgissent des steppes et des déserts, avec dominance de la direction ouest-nord-ouest : Koutchouk-taou, Sultan-Ouiz-Dag et autres chaînons. Nul doute que l'ensemble de plis de fond et de plis de couverture auquel ces choses appartiennent ne soit, en ce qui concerne les premiers, bien réglé, quoique avec moins de dénivellations structurales et de plus grands rayons de courbure, en moyenne, qu'aux deux ailes plus pressées contre de vieux massifs.

L'appel du flux vers l'aval du segment touranien s'est fait sentir loin à l'amont, dans le bassin de l'Ob. Mais cet appel a été d'autant plus faible et d'autant plus tardif que croissait la distance amont : c'est bien ce qui convient à un milieu de haute viscosité. Voilà pourquoi le massif de la Steppe Kirghize en est resté aux très grands rayons de courbure qui d'ordinaire préludent au réglage cylindrique parfait. Moindre a été la force, et moindre le temps de déformation : en conséquence, tout est moins achevé que dans le centre et le sud touraniens. On le voit encore à ce que le groupe de culminations et d'ennoyages de plis de fond qui constitue le massif Kirghize est demeuré chaotique, et régi par des facteurs locaux ; la condition axiale déprimée et le régime de l'écoulement touranien n'ont pas eu le temps de s'affirmer pleinement, bien que le diamètre central traverse les lisières occidentales du groupe.

Contenus par toute une série de massifs anté-hercyniens reviviscents ; refoulés, déviés et serrés contre ces massifs, les plis qui constituent les deux ailes de la virgation touranienne traînent fort loin à l'arrière des éléments de même nature qui les raccordent ou les relaient au travers du segment central. Sous l'influence de ces résistances qui se répètent sur les deux berges du couloir touranien, et entre lesquelles s'intercalent, de côté, des zones plus faibles correspondant aux ex-géosynclinaux paléozoïques, les filets d'écoulement prennent des allures compliquées, un peu variables avec le temps, mais où domine une divergence, un épanouissement de plus en plus accentué vers l'aval, vers les berges et dans les sinuosités latérales. Aux échelles inférieures, des virgations régionales ou locales, qui sont du deuxième genre, s'inscrivent dans la virgation principale et s'y subordonnent ; elles tendent à supprimer l'obliquité de l'abordage et y parviennent souvent ; ainsi se réalise, de plus en plus jointive, l'adaptation du cadre.

XVII

Une plus ancienne virgation touranienne, faite de plis ordinaires, s'était développée au cycle hercynien dans les géosynclinaux de cet âge. Le cadre anté-hercynien est commun à cette vieille virgation et à la virgation de plis de fond alpins qui lui a succédé en remplissant le même espace. C'est

pourquoi ces deux virgations successives marquent des analogies qui tiennent à la similitude des régimes d'écoulement, elle-même rattachable à l'identité du cadre, et des dissemblances qui sont celles des plis de fond aux plis ordinaires, le degré de figé du bâti hercynien ayant augmenté avec le temps.

Le cadre commun comprend, à la berge droite, le socle de la plateforme russo-scandinave et le prolongement probable du massif podolien, que sépare, à l'alignement du bassin du Donetz, une zone faible ; à la berge droite, d'amont en aval, la résistance sibérienne, celle des éperons occidentaux du faite et la résistance sérindienne. Le massif sérindien divisait en deux branches la Téthys hercynienne. De la branche sud, qui passait entre la Sérinde et la future Inde, est sorti le Kouen-Lun hercynien, appliqué du sud contre le premier de ces massifs ; le reste de la branche, plus au sud, a donné la Téthys alpine. Comprimée entre la Sérinde au sud et l'Altaï Mongol au nord, la branche septentrionale a été comblée sans reste par le plissement hercynien ; le plissement alpin, jouant dans ce fond, en a fait surgir les parties essentielles de l'aile gauche de la seconde virgation touranienne : Tarbagataï, Alataou dzoungare, Tien-Chan. Aux extrémités orientale et occidentale de la Sérinde, les deux branches se réunissent. L'une et l'autre branche confluaient normalement, à l'ouest, avec le segment géosynclinal touranien, de direction méridienne.

Cette conformation des deux berges et de leurs anfractuosités latérales a réglé les deux virgations successives. Nous nous occupons d'abord de l'aile gauche.

Le bord occidental du faite tendait à dévier vers la gauche, dans l'Altaï Russe, les flux d'origine touranienne. Des adaptations plus locales gouvernées par le même jeu et régies, dans le détail, par la conformation du saillant de l'Alataou du Kouznetzk, de celui de l'Altaï Mongol et du rentrant intermédiaire, se produisaient suivant des courbes en partie débrouillées. Au droit de l'Alataou dominant, d'après M. OBROUTCHEV, les directions hercyniennes au nord-nord-ouest ; dans le segment intermédiaire, celles au nord-est ; au droit de l'Altaï Mongol, celles à l'ouest-nord-ouest. La puissance du flux augmentait d'amont en aval : de là, dans le nord, ces larges conformations dont le bassin houiller de Kouznetzk est un bon exemple, et au sud, une certaine dominance des jeux plus serrés. Quant aux plis de fond alpins, l'Altaï Russe montre bien plus le stade infantile, à larges intumescences de grand rayon, que le réglage cylindrique qui est le fait de jeux plus poussés. En cela, le jeu de l'Altaï Russe ressemble à celui du massif Kirghize : effet de la situation amont. Mais il marque plus d'exaltation ; cette plus grande intensité est due à la proximité de la berge orientale, le massif des faites. A l'égard du Tarbagataï, de l'Alataou dzoungare et du Tien-Chan, plis de fond bien réglés et de rayon moyen, l'Altaï Russe montre au contraire une déficience du jeu ; effet combiné du

site plus amont et de la plus grande distance au butoir sérindien. Un commencement de réglage se marque cependant, dans une notable partie de l'Altaï Russe, par des cassures qui suivent des azimuts compris entre l'est et le sud-est.

De l'intumescence informe du massif Kirghize se dégagent latéralement, vers le sud-est, des alignements mieux exprimés, comme le Tchinghiz, et plus loin le Tarbagataï. Le groupe d'arcs constitué par le Saour, le Tarbagataï, le Djaïr et l'Alataou dzoungare, autrement dit les arrières-chaînes du Tien-Chan, est bien mieux réglé que les fonds qui s'étendent au nord-ouest vers le centre du segment touranien : c'est que la résistance sérindienne est plus proche. Mais à l'égard du Tien-Chan, qui seul affronte directement la Sérinde, le jeu de ces arrières-chaînes est moins énergique, moins accompli sous tous les rapports. La zone de culmination de notre groupe d'arcs va du 80^e au 87^e méridien, et le promontoire nord de la Sérinde du 81^e au 86^e : c'est donc bien ce saillant particulièrement résistant et rapproché qui détermine cette exaltation. Mais le Tien-Chan, au plus près de la Sérinde, s'applique à tout le périmètre septentrional du grand môle invisible. L'exaltation en masse est bien plus étendue, le tonnage beaucoup plus imposant que dans les arrières-chaînes. Le flux développé par la compression de l'espace sérindo-sibérien, grossi à l'ouest par l'apport latéral touranien, trouve sa limite au bord de la Sérinde ; il se gonfle en magnifiques plis de fond, puis déferle et surmonte la Sérinde en charriages cassants qu'on connaît, à tout le moins, au côté nord-ouest de ce grand butoir.

L'éperon occidental du massif mongol, faute d'avancer très à l'ouest, laisse à découvert les bords nord-ouest et nord de la Sérinde, en les livrant à toute la lente violence du flux touranien. C'est pourquoi la part de ce flux dans l'effet d'ensemble va en augmentant vers l'ouest.

Le jeu grandiose des plis de fond du Tien-Chan est tout entier provoqué par la Sérinde. De l'ouest, au nord de l'Ili ; du nord-ouest, entre l'Ili et le Tchou, entre le Tchou et le Syr-Daria, entre le Syr et l'Amou-Daria, arrivent et montent les branches puissantes ; et toutes se serrent à l'est, vers le grand obstacle, puis au droit de lui. Le serrage va en augmentant des lisières du segment touranien aux parages du bord nord-ouest, puis du bord nord du butoir, où se trouve la plus grande résistance. En se serrant, les branches s'exaltent. Cette puissante aile gauche de virgation est comme l'image renversée de la virgation du Kouen-Lun moyen ; les deux dispositifs sont du même ordre de grandeur et à peu près symétriques par rapport à un point situé vers le centre de la Sérinde.

Les arcs qui constituent les arrières-chaînes présentent, à l'égard du Tien-Chan, une bien plus grande liberté de jeu, telle qu'on la trouve dans les virgations du premier genre. Cela vient de ce que ces arcs, assez rapprochés de la Sérinde pour se former sous l'influence de son saillant nord, en sont assez éloignés pour pouvoir se déployer à l'aise en plein milieu her-

cynien, suivant leurs lois propres. La virgation du deuxième genre, la virgation forcée, est au contraire la loi du Tien-Chan, obligé de s'adapter immédiatement à la Sérinde. Le contraste est de même nature qu'entre les faisceaux internes et les faisceaux externes de l'arc iranien méridional.

Le groupe d'arcs qui sous des noms divers, Boro-khoro, Eiren-khabirgan, Bogdo-ola, compose la branche septentrionale du Tien-Chan, conserve quelques vestiges de cette aisance, mais dans les branches plus externes l'adaptation s'accroît jusqu'à se parfaire au bord même de la Sérinde.

La dépression de la Dzoungarie est un paquet de plis de fond, finement cassés en long, dans lesquels prévaut la condition synclinale. A l'égard du Tien-Chan, cette moindre exaltation tient au plus grand éloignement du butoir sérindien.

Les filets d'écoulement touraniens, une fois dépassé l'éperon ouest de l'Altaï Mongol, marquent une tendance à se courber au sud-sud-est pour s'insinuer dans la partie occidentale de la dépression dzoungare. C'est pourquoi les arrières-chaînes du Tien-Chan montrent fréquemment, à l'aile gauche, un recourbement à l'est-nord-est, comme il se voit dans le Salbourty et l'Alataou dzoungare, avec ses prolongements dans le Maïlitaou et le Djaïr. Les plis se contournent pour demeurer à peu près normaux aux filets et leurs coulisses obliques tendent à clore la largeur de la Dzoungarie.

A l'avant, ce groupe d'arcs dispose ses échelons sur une ligne incurvée qui passe à peu près par l'Ebi-nor et le Telli-nor, pour atteindre le fleuve Ouroungou un peu en amont de Bouloun-tokhoï. Mais l'insinuation latérale du flux touranien ne s'arrête pas là. Les filets touraniens, de plus en plus déviés du sud-sud-est au sud souvent un peu ouest, balaient les fonds de la Dzoungarie occidentale et ceux du segment de Tien-Chan qui se trouve à l'aval. Cette déviation est due, pour une part, au bord nord de la Sérinde ; pour une autre, au fait que le flux engendré par la compression sérindo-altaïque, de plus en plus marquée sur les diamètres orientaux, limite l'expansion latérale du flux touranien.

Une ligne convexe à l'est, menée de l'éperon altaïque à l'angle sérindien des environs de Kourlia, par les abords du lac Oulungour et d'Ouroumtchi, avec convexité maximum dans le désert Dsossotyn-elissoun vers 88° est et 45° nord, laisse à l'ouest les effets les plus considérables de l'afflux touranien, d'ailleurs combinés à ceux de la compression entre Sérinde et Altaï Mongol. Elle laisse à l'est un espace où cette compression règne avec moins de partage.

Cet espace oriental, de plus en plus privé de l'appoint touranien, marque de nouveaux jeux d'axe. L'appoint touranien concourt encore à exalter la Bogdo-Ola à des altitudes du même ordre que celles qui prévalent plus à l'ouest ; mais cet effort donné, il s'épuise rapidement dans le sens transversal et dans le sens longitudinal. Cet épuisement se marque, à l'avant,

par la faible exaltation du Pe-Chan, tant à l'égard de la Bogdo-Ola que par rapport au Tien-Chan central. Il se fait sentir, en long, par l'abaissement de la Bogdo-Ola vers les parages du 92^e. Mais le flux sérindo-altaïque intervient avec une énergie grandissante, à mesure qu'il s'agit de diamètres plus orientaux ; en conséquence, une importante culmination fait saillir l'arc de Barkoul et du Karlyk-tag, qui relaie obliquement la Bogdo-Ola. C'est que sur ce diamètre intervient, au travers du faite un peu moins figé, le dur promontoire d'Irkoutsk, angle du noyau sibérien. En plan, la convexité maximum des plis de fond alpins qui ont pétri le faite se trouve sur ce diamètre capital. Il en est de même pour la culmination des pénéplaines gauchies du Khangai.

Favorisé par ces circonstances, l'arc de Barkoul a vigoureusement grandi en s'allongeant aux deux ailes. Son aile droite, arrivée première, s'est opposée à un allongement ultérieur, vers l'est, de l'aile gauche de la Bogdo-Ola. La croissance de ce dernier groupe d'arcs s'était longtemps poursuivie avec une certaine liberté, qui rappelle celle dont ont joui les arrière-chaînes du Tien-Chan. D'où la tendance de la Bogdo-Ola à clore obliquement l'espace dzoungare, tendance beaucoup moins marquée que dans les arrière-chaînes et à laquelle l'allongement du Barkoul a mis un terme. De là, encore, le défaut d'adaptation de la Bogdo-Ola à la direction du bord sérindien ; cette accommodation était réservée aux chaînons plus externes du Pe-CHAN.

La fosse de Liouktchoun, ennoyage local d'un groupe de plis de fond, descend un peu au-dessous du niveau de la mer ; ce dernier fait est sans importance pour la tectonique générale.

A l'est du 88^e, d'étroites coulisses, qui sont des voussoirs de plis de fond, paraissent en Dzoungarie orientale, jusqu'au désert Naryn-khoukhou-gobi. Elles s'alignent à l'est-sud-est et marquent le règne de plus en plus indisputé de la compression entre Sérinde et Altaï Mongol, ce jeu partiel du grand serrage indo-sibérien. Nombreuses sur les diamètres orientaux, elles deviennent plus rares à l'ouest, aux lisières du gros de l'afflux touranien.

En résumé, le massif de l'Altaï Mongol a protégé la Dzoungarie orientale, le Tien-Chan oriental et le bord nord-est de la Sérinde contre le gros de l'afflux touranien. Au droit de ce bord la compression sérindo-sibérienne régnait seule sur de grandes longueurs, avec maximum sur le diamètre Irkoutsk-Hami. Au droit du bord sérindien nord, cette compression, très forte encore, s'ajoutait à l'effort touranien et la somme des deux effets était maximum. Au droit du bord nord-ouest de la Sérinde, l'afflux touranien, encore accru, primait le jeu sérindo-sibérien d'ailleurs bien diminué.

Le côté nord de la Sérinde a en général reçu de front l'attaque du Tien-Chan. Il n'en est pas partout de même aux côtés nord-est et nord-ouest ; aussi voit-on s'y produire des arcs de détail et peut-être de petites virga-

tions du deuxième genre, qui viendraient s'inscrire dans la virgation principale.

Le Pe-CHAN et sa chaîne frontale le Kourouk-tag accourent de l'est, parallèlement au bord de la Sérinde, jusqu'au 88^e ; de là aux environs de Kourlia, le bord résistant tourne à l'ouest-nord-ouest et du même coup les branches du faisceau marquent une virgation du deuxième genre s'il faut en croire certains documents topographiques : ils se serreraient en gerbe vers l'ouest et les extrémités souligneraient de leurs échelons relayés, le long du Kontje-Daria, la nouvelle direction du bord sérindien.

Des travaux remarquables ont précisé, dans les dernières années, notre connaissance des arcs de détail par lesquels le Tien-Chan affronte le bord nord-ouest de la Sérinde. Mais les oscillations d'axe qui paraissent dans ces arcs ne sont pas dues, comme on l'a cru parfois, au croisement de deux plissements successifs et orthogonaux. Le second plissement, qui est censé s'aligner suivant le méridien et qui aurait ainsi produit, dans les plis d'une première phase, une succession de points hauts et de points bas, n'a jamais eu lieu. Cette interprétation n'atteint pas les événements réels ; elle ne fait que projeter dans les temps géologiques la séquence de certaines opérations analytiques de l'esprit. Certes, les jeux alpins du Tien-Chan ont comporté plusieurs phases de plissement, mais l'effort a toujours porté essentiellement au sud, et la raison des arcs de détail comme des jeux d'axe doit être cherchée, pour une petite part, dans la distribution segmentaire des puissances, héritage de jeux survenus à l'amont ; pour l'essentiel, dans la distribution segmentaire des résistances de l'aval. Il faut donc penser aux dispositifs forts et faibles qui ne peuvent manquer de se répéter, en alternant, au bord invisible du massif sérindien et peut-être même, à l'étage tectonique supérieur, dans la masse des couches du Gobi. Les conglomérats du bassin néogène de la Suisse se sont déposés en amas particulièrement importants au débouché des grandes vallées transversales de sortie, consécutives au paroxysme oligocène. Au cours des phases tardives, ces amas ont fait butoir et réglé le jeu des arcs marginaux, tant en élévation qu'en plan, comme l'a montré M. ARBENZ. L'intervention des singularités du fond, combinée ou non avec celle des singularités de la couverture des couches du Gobi, en jeux multiphasés analogues à ceux qu'on vient de rappeler, est le vrai facteur décisif en ces problèmes.

En tout état de cause, les principaux arcs de détail marquent, des environs de Kachgar à ceux de Kalpin, des culminations aux points de rebroussement ou d'inflexion rentrante, et des abaissments sur les saillants convexes. Or c'est là, comme nous l'avons montré par tant d'exemples, le plus ordinaire des jeux d'axe. Un même jeu d'axe, dans ces parages, est souvent commun à plusieurs arcs qui se succèdent d'amont en aval, ce qui implique une segmentation bien marquée de la résistance. Des tendances à la virgation du deuxième genre se reconnaissent par places à des imbrications d'arcs contigus mais de direction différente.

Dans chacune des quatre branches maîtresses du Tien-Chan, la zone exaltée s'allonge d'autant plus vers l'ouest que la branche est placée plus au sud. A cette échelle si considérable, l'influence du butoir sérindien sur les jeux d'axe est donc manifeste, et elle augmente d'amont en aval.

Il n'est pas, dans l'intervalle de la Sérinde au massif sibérien, d'objets plus finement cassés en long que les plis de fond du Tien-Chan et de ses arrière-chaînes. C'est une conséquence de la perfection du réglage cylindrique dans les moyens rayons de courbure.

Du fait de la grande virgation, bien des portions du Tien-Chan situées à l'ouest du 86^e méridien ont été le siège de composantes longitudinales dirigées, dans les arcs, de l'aile au segment central, soit en moyenne à l'ouest. De nombreux arcs se sont appointis de cette façon ; de nombreux étirements ont eu lieu ; c'est la forme plastique du jeu. Dans sa forme discontinue, il a été facilité par les cassures en long, qui ont permis des glissements rame par rame, voussoir par voussoir. Aux échelles régionale et locale, ces jeux ont conféré au plan de la chaîne nombre de traits intéressants.

En s'allongeant vers le centre de la dépression touranienne, les maîtresses branches du Tien-Chan, entre le Tchou et le Syr-Daria comme entre le Syr et l'Amou-Daria, se recourbent au nord-ouest. Dans les deux cas elles sont précédées, au côté aval, par des branches plus délicates qui s'infléchissent au sud-ouest. Ces branches agiles marquent la tendance des filets touraniens à dévier au sud puis au sud-est à l'approche des berges de gauche. Les branches maîtresses, de tonnage imposant, sont lentes à céder à ces jeux délicats du flux : elles n'en expriment que l'écoulement le plus général et gardent en conséquence la direction nord-ouest qui est celle du segment central de la virgation. Mais les branches légères se laissent plus docilement entraîner. Il faut aussi faire intervenir, en composition avec les facteurs précédents, l'influence du moindre serrage qu'éprouvent toutes les branches en entrant dans le segment touranien. Ainsi s'explique ce dispositif particulièrement divergent des étoilements du Tien-Chan, tiré à deux exemplaires. Dans l'étoilement méridional, la déviation des branches agiles, au nord de l'Amou-Daria, annonce déjà la résistance du massif indien.

L'Hindou-Kouch avec la virgation afghane répète dans le domaine géosynclinal, avec des analogies et des dissemblances dans le jeu, l'essentiel de ce plan étoilé.

XVIII

On le voit, les raisons d'admettre l'existence d'un massif sérindien ne manquent pas. En s'y refusant, on serait conduit à penser que le fond de la Sérinde est homogène aux montagnes de bordure, ce qui ferait de cette région un synclinal de fond. Conformé en amande pour avoir été fortement

comprimé aux deux bouts et plus faiblement au centre ; bordé, au nord comme au sud, d'anticlinaux que ferait jouer la tendance à la poussée au vide, à l'écoulement vers la dépression ; un peu tiraillé, enfin, par des jeux en long qui auraient accentué la forme amygdalaire du plan, ce synclinal ne différerait que par le degré de figé, et par les dimensions, des dispositifs analogues que peuvent réaliser les synclinaux les plus ordinaires.

En faveur de cette hypothèse, on pourrait alléguer le groupe de chaînons du Masar-tag qui, dans les parages du 79^e méridien, s'allonge au sud-sud-est vers le centre du désert et comprend des sédiments paléozoïques plissés. Mais rien n'empêche de penser que les arcs charriés du Tien-Chan s'avancent jusque là ou qu'il s'agit, chose moins probable, d'un plissement de la couverture normale du massif sérindien. Le flot montant des dépôts continentaux, résultat d'une longue privation de drainage extérieur, noie la marge des montagnes : il s'ensuit que la partie centrale du massif sérindien, celle qui n'est pas recouverte par des arcs de bordure, doit occuper une étendue un peu inférieure à celle des plaines.

En présence de tant de faits concordants, parmi lesquelles excellent les deux énormes virgations forcées du Kouen-Lun moyen et du Tien-Chan, inexplicables sans une résistance interposée, nous ne pouvons, en fin de compte, que tenir pour établie l'existence d'un très vieux massif sérindien. Sans ce massif, tout autre serait la configuration des flux qui se pressent de l'Altaï Mongol au Tibet, ou qui s'étalent dans la moitié orientale du segment touranien, et tout autre le dessin des chaînes, ainsi que leurs jeux d'axe.

Le massif sérindien est le butoir commun au Kouen-Lun et au Tien-Chan, poussés en sens inverse.

L'espace sérindo-sibérien, géosynclinal fort ancien, a donné naissance, dans sa grande moitié nord, au train des chaînes antédévonniennes appliquées contre le massif sibérien. La moitié sud, tout entière ou en partie, a subsisté comme géosynclinal hercynien, obturé avant la fin des temps anthracolithiques, ce que montrent les jeux du Tien-Chan. On ne saurait, en l'état des explorations, affirmer qu'une lisière de plis antédévonniens, symétrique de celle des faîtes, se soit constituée près des marges nord de la Sérinde. Il se peut que quelque chose d'analogue se rencontre dans le Pe-Chan, ou se révèle par places dans le Tien-Chan, au cours de recherches futures. Mais cette lisière, si elle a existé, ne peut avoir eu, faute d'espace, la même importance que la puissante chaîne des faîtes. En sorte que les jeux antédévonniens de l'espace sérindo-sibérien ont été ou franchement dissymétriques, une seule aile venant s'appliquer contre la Sibérie, ou d'une dissymétrie atténuée, l'une des ailes de la chaîne double, celle du sud, s'étant peu développée.

L'espace indo-sérindien, trop large peut-être, en ces temps reculés,

pour être taxé de géosynclinal, a vu naître tout contre la Sérinde des plis antédévonien suivis de plis hercyniens : ce bourrelet complexe était la matière du futur Kouen-Lun. Le reste de l'espace, au sud, a subsisté comme Téthys alpine. Les plissements paléozoïques qui ont pu se produire aux lisières méridionales, vers l'Inde, ne sauraient être comparés, pour le tonnage et pour l'intensité, à ceux du Kouen-Lun. Nous retrouvons donc dans les deux espaces générateurs de chaînes, pour les jeux anté-alpins, le même genre de symétrie imparfaite, de dissymétrie dans la symétrie. Les bords sud de la Sibérie et de la Sérinde se sont entourés de faisceaux puissants. Mais les bords nord de la Sérinde et de l'Inde ont été déficients à cet égard, et le second plus longtemps que le premier.

Dans la branche sérindo-sibérienne comme dans la branche indo-sérindienne de la Téthys, la condition géosynclinale s'est affirmée plus longtemps au sud qu'au nord. Les derniers sillons ont été comblés, dans la première branche, au cycle hercynien ; dans la seconde, au cycle alpin.

Toutes ces déficiences dans la symétrie des anciens jeux, et principalement celles que montre l'espace indo-sérindien, importent fort à la question, si débattue de nos jours, de savoir si les continents sont inamovibles, ou s'ils peuvent exécuter de grandes translations horizontales. Elles montrent, à tout le moins, que l'espace sérindo-sibérien était notablement, l'espace indo-sérindien considérablement plus large qu'aujourd'hui. Car dans l'hypothèse de la fixité ou de l'amovibilité restreinte, les serres eussent dû être presque aussi rapprochées qu'aujourd'hui, et le dispositif des vieux plissements eût été plus franchement symétrique, comme il est advenu depuis, par les progrès du rapprochement et du serrage. On conçoit, en effet, qu'un géosynclinal ordinaire, c'est-à-dire point trop large et dont les deux serres sont de niveau, donne naissance à une chaîne double à ailes opposées ; on ne le conçoit pas, ou mal, d'un dispositif trop large. Il est donc vraisemblable qu'en des temps paléozoïques, le centre de ce qu'on appelle la Téthys ressemblait plus, entre l'Inde et la Sérinde, à un océan qu'à un bras de mer, et que le jeune Kouen-Lun, né d'un talus continental qui de la Sérinde s'abaissait vers la mer ouverte, ressemblait en ses jeux à nos chaînes circumpacifiques, bien plus qu'à une moitié de chaîne double sortant d'un géosynclinal.

On ne saurait donc douter que l'Inde et la Terre de l'Angara se soient beaucoup rapprochées, et que le massif indien ait accompli une *ample* translation du sud-ouest au nord-est, ou la terre de l'Angara une translation équivalente et de sens inverse, ou que cette amplitude résulte du concours de deux translations opposées. Mais il serait vain, de nos jours, de prétendre apprécier cette ampleur au moyen du déroulement des plis. Pour y parvenir, il faudrait non seulement connaître le détail des structures plissées et charriées qui se pressent entre l'Inde et la Sérinde, mais encore pousser l'art de dérouler les plis, de rétracter les nappes à un degré

de précision quantitative très supérieur au peu qu'on sait faire aujourd'hui. L'ordre de grandeur du mouvement peut toutefois être estimé par d'autres moyens.

Le rapprochement de l'Inde, devenu efficace à dater d'un certain moment du cycle alpin, a eu pour conséquence un puissant serrage, dont la synergie embrassait les massifs indien, sérindien et sibérien. La disposition en éventail, si caractéristique, que présentent aujourd'hui les espaces indo-sérindien et sérindo-sibérien a remplacé l'ancienne et imparfaite symétrie : c'est l'œuvre du cycle alpin.

L'éventail indo-sérindien est fait de chaînes neuves et de plis de fond ; l'éventail sérindo-sibérien, de plis de fond seulement. Il est inutile de rappeler comment les déversements de l'*Himalayan zone* s'opposent à ceux du Kouen-Lun ; ceux de la bordure externe du faite, gauchis avec versant raide, tourné vers la Sibérie, et charriages dans le même sens, s'opposent pareillement aux déversements du Tien-Chan. Les flux, ont dans tous ces cas, tendu à déborder des serres tout ensemble résistantes et déprimées.

D'après les observations anciennes et nouvelles, les relations du faite et du noyau sibériens se compliquent de renversements et de charriages du premier sur la marge sédimentaire ou sur les couvertures du second. Nous n'avons pas à rappeler les renversements, avec poussées divergentes au nord-est, au nord et au nord-ouest, qui ont été signalés dans les contacts étudiés à la périphérie de la boucle des Patom. D'autres grands jeux horizontaux, attribués à des plis couchés au nord-ouest, ont été signalés à l'ouest du Baïkal par M. TETIAEV. Suivant le même auteur, des recouvrements dont l'amplitude est de l'ordre de vingt kilomètres existent plus loin, dans la région du sud-ouest du Baïkal et du cours supérieur de l'Angara ; ils amènent le cristallin sur le Jurassique continental ; les mouvements sont dirigés vers le massif sibérien, c'est-à-dire vers l'intérieur de l'amphithéâtre, et seraient dûs à des plis couchés. Plus loin, dans la vallée de l'Irkout, des recouvrements de Paléozoïque par du cristallin, soulignés par des mylonites, ont été reconnus par M. FREDERIKS ; on les a attribués à des plis couchés.

L'intervention de grands mouvements horizontaux du cycle alpin doit être tenue pour évidente dans les régions où les couches de l'Angara, et singulièrement le Jurassique, sont engagés dans le substratum. Le bord externe du faite, gonflé en puissants plis de fond alpins, a joué par charriages qu'on doit regarder comme cassants. L'existence de plis couchés alpins, dans une région où manque tout géosynclinal de ce cycle, est invraisemblable. Il en est de même de la transformation de plis de fond en plis couchés de grande amplitude. En aucune région du monde on n'a constaté de transformation de ce genre : la faible plasticité du matériel mort rend la chose bien improbable.

S'il est vrai que des plis couchés de grand style se rencontrent dans

les faîtes et dans les régions d'entre faîte et marge, ils ont donc les plus grandes chances d'appartenir à un ou plusieurs cycles anté-alpins ayant comporté la condition géosynclinale. D'où l'importance qu'il y aurait à distinguer, par des critères précis, ce qui est plis couchés et ce qui est charriages cassants, et parmi ces derniers, ceux qui le sont originairement et ceux qui dérivent de grands plis couchés. On arriverait ainsi à la notion de plusieurs générations de grands mouvements horizontaux. Remarquons encore que si les conditions réalisées au cycle alpin, en ces régions, excluent la formation de grands plis couchés, les charriages cassants, par contre, peuvent se rencontrer en n'importe quel cycle.

Un pli couché dont le flanc renversé est conservé sans trop de laminage montrera, en même temps que le renversement des séries, des traces des passages stratigraphiques originaires entre les assises. C'est ce qui semble résulter du rapprochement des données publiées sur le contact externe du faîte, pour plusieurs points de la boucle des Patom, où l'on signale en même temps des renversements et des passages entre le cristallin et le Paléozoïque inférieur. En l'état du connu, ce rapprochement est donc favorable à l'hypothèse de plis couchés calédoniens refoulés vers la périphérie convexe de la boucle.

En tout état de cause, ces divers mouvements horizontaux de grande amplitude sont peu conciliables avec l'ancienne hypothèse qui fait du noyau précambrien de la Sibérie, enfoui sous les tables paléozoïques, l'exact homologue du complexe cristallin des faîtes. Ils viennent à l'appui du résultat de notre enquête sur le jeu des plis de fond de tout le segment de l'Asie centrale, à savoir que le noyau sibérien est un véritable avant-pays. S'il en était autrement; si le plissement de fond, du Saïan oriental aux Patom à travers les régions baïkalienne et transbaïkalienne, avait travaillé un bâti entièrement homogène au noyau sibérien, la disposition du plan, avec les deux boucles si étroites, si rapidement contournées des environs d'Irkoutsk et de la région des Patom, n'aurait pu se réaliser sous cette forme. L'explication des courbes de faible rayon ne pourrait plus être demandée, comme nous l'avons fait, à la conformation planimétrique et aux singularités d'un massif sibérien formant résistance externe; elle devrait faire intervenir uniquement les variations diamétrales de la puissance, lesquelles devraient être d'une brusquerie inconciliable avec la régularité des boucles. Le maintien et la progression d'un front aussi étroitement sinueux, à l'avant d'un régime de plis de fond qui mordent peu à peu dans un milieu homogène, est d'ailleurs inconcevable en raison du haut degré de figé de la matière. Il faut donc que le milieu ne soit pas homogène, c'est-à-dire qu'il y ait, sous la région tabulaire, un noyau sibérien dont la plasticité moyenne soit inférieure à celle du terrain cristallin des faîtes.

Rien de tout cela n'implique, il va de soi, qu'il n'y ait pas eu de plisse-

ments précambriens dans la masse du faîte, et si, dans nos hypothèses de travail, nous avons laissé une certaine place à cette conception, c'est qu'on n'a produit, jusqu'ici, aucune raison de mettre en doute la transgressivité du Paléozoïque inférieur affirmée, pour quelques régions, par d'excellents observateurs. Nous l'avons fait avec les réserves indiquées ailleurs.

Le renflement des plis de fond et leur résolution au moins régionale en charriages cassants établissent, entre la bordure du faîte poussée contre la Sibérie et celle du Tien-Chan poussée contre la Sérinde, une évidente analogie quant aux jeux alpins.

XIX

Les plis de fond du Tien-Chan et du Kouen-Lun, longuement séparés par la Sérinde, se rapprochent jusqu'à se côtoyer aux deux extrémités du massif. A l'ouest les chaînes de l'Alaï se serrent contre les Pamirs. A l'est, dès le 96^e, les longs voussoirs du Pe-Chan en arrivent à border de près, sur de grandes longueurs et en direction est-sud-est, le pied du Nan-Chan. Plus à l'est, à compter du 105^e environ, le massif sinien divise de nouveau les faisceaux. Un train méridional, appliqué à ce vieux môle, comprend l'aile droite des arcs du Nan-Chan, fortement déviés et recourbés au sud-est; à partir du 107^e environ, ce dispositif est relayé, sur le front sinien résistant, par une branche plus interne du Kouen-Lun, le Tsin-ling-Chan. Au bord opposé du môle, lisière du Gobi, de nombreux voussoirs, Hsi-Chan, Khara-narin-oula, Cheiten-oula, Ta-tsing-Chan et quelques autres, mordent ou contournent l'Ordos résistant ⁽¹⁾, lui-même un peu bousculé par plis de fond et froncé, en surface, de quelques plissements de couverture.

L'éperon occidental de l'Ordos, diviseur des plis, paraît se trouver près du point où le Hoang-ho quitte l'alignement du Nan-Chan, en aval de Lan-tcheou-fou. Un saillant sud-occidental, vers Fong-tsiang ou un peu à l'ouest, provoque le relai du Nan-Chan par le Tsin-ling-Chan. Un saillant nord-occidental, coiffé [cf. ms. orig. fol. 132] par le Khara-narin-oula, a incité d'importants jeux d'arcs.

Par son grand promontoire de l'Ordos, le massif sinien empiète un peu sur les lisières orientales du segment indo-mongol. De la pointe occidentale de l'Ordos, vers le 105^e, à la pointe orientale de la Sérinde, vers le 96^e, le jeu des flux est aisé; c'est là que se produit l'avancée maximum du Nan-Chan.

⁽¹⁾ Ce que nous appelons ainsi n'est pas seulement le territoire des Ordos; c'est tout le vaste promontoire qui forme la région sud-ouest du massif sinien et qui s'étale largement à l'intérieur de la grande boucle du Hoang-Ho, en empiétant sur des contrées voisines.

Au nord-est de ce chenal sino-sérindien et du Nan-Chan s'étend, en plein segment indo-mongol, un espace non moins favorable aux jeux étalés : le Petit Gobi ou Gobi sud-occidental. Cet espace n'est encadré qu'à son bord oriental : il l'est par le bord sinien qui va du saillant nord-ouest à l'éperon ouest de l'Ordos. Ce bord, fonctionnant comme berge gauche du segment indo-mongol, a provoqué la naissance d'une aile gauche de virgation du deuxième genre, qui couvre la partie orientale de notre espace. La partie occidentale, bien plus étendue, a des jeux plus libres ; les plis de fond et leurs voussoirs, parallèles au front du Nan-Chan, gardent en moyenne une condition plus déprimée qu'à l'aile ; c'est le segment central. Plus à l'ouest, ces objets se continuent sans déviation importante dans le Pe-Chan, c'est-à-dire dans les faisceaux externes du Tien-Chan. On peut donc les croire poussés, comme cette chaîne, en sens inverse des flux du Kouen-Lun ; c'est ce que confirme l'analyse de l'aile gauche.

Le diamètre qu'on peut mener en direction nord-ouest un peu nord, du saillant nord-ouest de l'Ordos au Galbyn-gobi à travers le Khara-narin-oula montre un serrage considérable, dû au fait que le massif de l'Altaï Mongol, passablement induré, se rapproche beaucoup de l'angle de l'Ordos. Le voussoir du Khoukhou semble appartenir à l'Altaï Mongol. De tous les azimuts compris entre le nord-ouest et le sud-ouest, les voussoirs convergent vers ce diamètre en se serrant vers l'est. Dans l'espace, réduit à 250 ou 300 kilomètres, qui va du saillant sinien au Khoukhou se pressent non seulement les fonds qui correspondent à tout l'intervalle entre Sérinde et Altaï Mongol, mais encore des éléments qui appartiennent à la marge sud du dernier. La culmination du Khara-narin-oula est l'effet vertical de ce jeu serré. Le désert d'Ala-Chan, partie orientale du Petit Gobi, répond à la moitié sud du dispositif convergent, à l'aile de virgation. Tout se serre vers le bord de l'Ordos, le long duquel se relaient, en s'exaltant, le Khara-narin-oula et le Hsi-Chan, fortement déviés à l'égard des chaînes du segment central et traînant bien à l'arrière.

Il est donc clair que les flux, au centre, portaient au sud-ouest un peu sud, à la rencontre du Nan-Chan. A l'aile gauche, l'Ordos tendait à dévier les filets d'écoulement au sud, puis au sud-est et par places à l'est, comme il se voit dans le Hsi-Chan.

La Sérinde a provoqué le jeu des flux du Kouen-Lun et du Tien-Chan, de sens inverse ; le massif sinien a eu la même influence à ses deux bords tournés l'un vers la Sibérie, l'autre vers le Tsing-ling-Chan ; dans le chenal sino-sérindien, ces flux opposés ont lutté pour la possession de l'espace ; devant le Nan-Chan, le flux d'origine septentrionale a affronté le flux du Kouen-Lun, ce puissant remous qu'entretenait l'immense énergie du massif indien, et il a eu le dessous. Il n'est pas impossible que le Nan-Chan ait débordé son faible antagoniste ; à la surface, par des charriages cassants ; en profondeur, par des conformations plus plastiques.

Telle est l'histoire qui se lit dans les traits subtils de la *virgation de l'Ala-Chan*.

XX

L'hypothèse suivant laquelle un géosynclinal hercynien continu, prolongement de celui qui est attesté pour le Tien-Chan, se poursuivrait en direction jusqu'aux rives de la mer d'Okhotsk, a été formulée à diverses reprises. Elle est certes plausible, puisqu'en ce cas le géosynclinal hercynien se serait coulé dans la partie sud ou sud-est d'un espace sino-sibérien homologue de l'espace sérindo-sibérien. Mais en l'état des faits connus, il y aurait excès à beaucoup affirmer à cet égard. Les quelques faits connus, déjà singulièrement discutables pour le Pe-Chan, le sont plus encore pour l'Ala-Chan et le Gobi oriental ; on ne sait presque rien du grand Khingan, et quant au Dévonien problématique de la Bouréïa, ou au Dévonien attesté du Patchan, on attend encore la preuve de la condition géosynclinale. On est mieux renseigné, nous l'avons dit, pour certaines parties du long alignement discontinu, à Dévonien tantôt certain, tantôt supposé, qui court de la région de Minoussinsk à celle d'Aïan. Mais cet alignement, situé en plein faite, est plus septentrional que celui qu'il s'agit de prolonger, et le caractère de plissement de couverture semble établi pour les environs de Minoussinsk. Quant aux calcaires à Schwagerines des environs de Khabarovsk, ils appartiennent à des niveaux élevés de l'Anthracolithique et leurs relations avec les formations voisines ne sont pas connues au point de permettre une inférence quelconque. La question proposée doit donc demeurer ouverte.

Plus généralement, on sait combien souvent l'Anthracolithique supérieur est transgressif ; en ce cas si fréquent, les plis qui peuvent s'y rencontrer appartiennent tantôt aux phases tardives du cycle hercynien, tantôt au cycle alpin. Pour en décider, il faut quelques faits de plus.

En outre, l'incertitude qui règne encore sur le point de savoir ce que devient, vers l'intérieur de l'Asie, le massif sinien, empêche souvent de poser en termes exacts un certain nombre de problèmes relatifs aux pays de la rive gauche de l'Amour, à la Mandchourie du nord et du nord-ouest, au Grand Khingan, voire même à une partie du Gobi. Cette incertitude affecte d'ailleurs beaucoup plus la diagnose des jeux anté-alpins que celle des plis de fond alpins, si vigoureusement marqués par leurs dorsales, leurs pénéplaines gauchies, leurs cassures en long, leurs voussoirs. On doit chercher, en attendant de nouvelles observations locales, à préciser l'emplacement possible d'un bord nord-ouest du massif sinien au moyen des reviviscences que ce bord, s'il existe, pourrait avoir provoqué à la marge de milieux un peu moins figés. Mais il faut reconnaître que la remarquable aptitude du massif sinien lui-même, dans les régions qui lui appartiennent incontestablement, à prendre des plis de fond alpins, limite un peu l'usage de ce critère.

On ne se refusera guère à ranger, dans le bâti précambrien du massif sinien, cette partie du Sikhota-Alin qui paraît prolonger les terrains anciens du nord de la Corée et du sud-est de la Mandchourie. Dans le Sikhota-Alin, les plis de fond alpins, avec leurs cassures et leurs voussoirs, s'alignent habituellement au nord-est un peu nord. Les vieux plis ont par places des directions différentes, plus voisines d'est-ouest, qui se rencontrent aussi en quelques éléments alpins.

La plus grande partie du gouvernement général de Priamour appartient au faite polycyclique, avec ses sédiments semi-métamorphiques, ses schistes cristallins et ses granites. La tectonique alpine, avec ses plis de fond, montre dans le nord du pays (bassin de l'Ouda) le passage de la direction sud-ouest, dominante sur les rives plus septentrionales de la mer, à la direction ouest qui se poursuit dans l'intérieur. Dans le centre et le centre-sud (basse Zéia, montagnes d'entre Zéia et Bouréia, est de la Bouréia) l'alignement au sud-ouest domine dans les plis de fond et dans leurs voussoirs ; ces éléments alpins traversent l'Amour et montrent, sur la rive gauche, une forte tendance à s'incurver à l'ouest (Ilkhouri-Alin et partie mandchourienne du Petit Khingan) en formant avec le Grand Khingan, cet autre groupe de plis de fond à direction à peu près méridienne, un dispositif à enchaînements, ou à rebroussements, ou à conversions graduelles, ouvert au sud un peu est, ou concave dans le même sens, et tel que pourrait le déclencher, par reviviscence, un éperon particulièrement résistant, projeté vers le nord un peu ouest, à la manière d'un coin assez marqué, dans les parages de Tsitsikhar. La tendance à l'enchaînement paraît dominer dans le Petit Khingan et le jeu d'inflexions plus graduelles dans l'Ilkhouri-Alin et les chaînes qui, au nord, le séparent de l'Amour ; c'est bien la reviviscence, d'intensité décroissante avec la distance, qu'on doit attendre d'une résistance placée dans le sud.

Menons un diamètre passant approximativement par Bodouné, Tsitsikhar, l'Amour par 122° de longitude, l'est du Teptorgo et la Léna vers le 114°. Cette ligne présente sur la sphère une légère convexité à l'est-nord-est comme cet autre diamètre, point très distant, qu'est le terminateur est du segment de l'Asie centrale. Le nouveau diamètre divise en deux moitiés le grand rentrant du plateau sibérien qu'occupe la boucle des plis anciens de la région des Patom, fortement remaniés en plis de fond alpins. La concavité de cette boucle s'ouvre dans le même sens que les conformations du nord de la Mandchourie. On peut donc penser qu'au rentrant sibérien fait face, sur le même diamètre et non sans un certain degré de congruence, un noyau ou un éperon du massif sinien. Cette congruence pourrait bien être, pour ne le dire qu'en passant, l'indice d'une très vieille translation continentale précambrienne qui aurait abouti à la séparation des noyaux les plus anciens des massifs sérindien, sinien, sibérien (Fig. 7, en trois temps), et créé l'immense géosynclinal, à dépôts en partie algon-

kiens, d'où devaient sortir les faîtes, et dont une portion devait survivre jusqu'à la fin du cycle hercynien, dans les parages du Tien-Chan. Cette translation, si elle a eu lieu, a été moins importante dans l'espace sino-sibérien que dans l'espace sérindo-sibérien.

Les parties nucléaires des massifs sinien et sibérien ont donc pu former une seule masse, tectoniquement homogène, en des temps extrêmement reculés. Mais qu'il en ait été de même en tous les temps anté-alpins, c'est ce que rendent invraisemblable l'histoire polycyclique du massif sinien et les énormes accumulations géosynclinales de la région des faîtes. Une suture sino-sibérienne s'est refaite, par l'obturation de ce vaste géosynclinal, lui-même polycyclique ; elle n'est devenue définitive qu'à la fin du cycle hercynien. L'hétérogénéité foncière n'en est que plus évidente, et si l'on peut bien, en stratigraphie, faire intervenir à dater d'un certain moment un continent sino-sibérien bon à recevoir des couvertures transgressives, le tectonicien doit tendre à déceler, sous les aspects particulièrement synergiques des mouvements, les jeux plus délicats par lesquels s'est exprimée, jusqu'en plein cycle alpin, l'inégale plasticité de tant de masses disparates.

En évitant l'hypothèse des parties nucléaires, plus résistantes que le reste des vieux terrains, on admettrait implicitement, chose invraisemblable, que tous ces vieux terrains ont en grand la même plasticité moyenne ; le bord de chaque pli de fond alpin ne marquerait, en ce milieu homogène, que la limite atteinte par un effort particulier, et la distribution des jeux par diamètres devrait être mise uniquement au compte des variations de la puissance, celles de la résistance étant exclues.

Les parties nucléaires ont bien des chances, dans beaucoup de cas, d'être faites d'un Précambrien particulièrement ancien, de très haut figé.

Ce qu'on appelle le massif sinien comprend probablement plusieurs noyaux de ce genre, avec des enveloppes précambriennes plus jeunes et plus traitables. Cette composition hétérogène expliquerait convenablement la forte propension du massif sinien aux jeux alpins par plis de fond, avec cassures, voussoirs et tout ce qui s'ensuit. De fait ces jeux sont très importants vers les deux marges du massif, Pe-Tchi-Li et Corée du sud-est ; ils sont plus modérés, c'est-à-dire à plus grand rayon de courbure en moyenne, dans les parties plus centrales du massif, comme la Corée du centre et du nord, le Liao-Toung, le Chan-Toung. Cette circonstance semble indiquer que le massif, par moments comprimé dans le sens de la largeur, a passablement cédé aux deux bords et moins au centre. L'hypothèse des noyaux particulièrement indurés permet mieux qu'une autre, semble-t-il, de comprendre pourquoi d'importantes rames de plis de fond à grand tonnage s'engagent tout à fait dans l'intérieur du massif, comme il arrive notamment au Chan-Si, où le plissement de fond a déformé des dépôts continaux réputés crétacés et assimilés aux couches supérieures du bassin du

Se-Tchouen. De nombreux et parfois intenses plissements alpins de couverture sont portés par les régions les plus diverses du massif sinien.

Bien des indices nous ont montré que le vrai cœur de la Sibérie, celui qui gît, à peine déformé par les jeux alpins, sous les tables cambro-siluriennes du centre de l'amphithéâtre et sous les tout premiers plis de la marge, est fait pour une grande part ou en totalité d'un noyau de très haute résistance. En sorte que le problème de la délimitation d'un massif sibérien et d'un massif sinien comprenant tout le Précambrien disparaîtrait, le vrai problème étant celui de la délimitation des masses nucléaires du côté de leurs couvertures faites d'un Précambrien plus jeune, à plissements joués en plusieurs cycles, et du côté des ceintures de plis paléozoïques. Au-dessus des antiques noyaux sibérien et siniens, ces couvertures, dans la mesure où elles peuvent être d'origine marne, seraient les équivalents latéraux, épicontinentaux, de la partie algonkienne du vaste géosynclinal des faîtes, qui court dans la région intermédiaire et a lui aussi une histoire polycyclique. Cette manière de prendre les choses revient à appliquer, entre cycles précambriens différents, les notions habituelles de butoir ancien, de plissements de géosynclinal, de plissements de couverture, ni plus ni moins que lorsqu'il s'agit de cycles postérieurs au Précambrien. Il y a lieu, nous l'avons dit, de faire la part du cycle hercynien dans le plissement des faîtes, et il y aurait imprudence, en l'état du connu, à éliminer celle du cycle calédonien.

Il convient d'ajouter qu'aussi longtemps que la diagnose des masses nucléaires s'appuie seulement sur des reviviscences par plis de fond alpins, et non sur des discordances constatées, ces renforcements de la résistance n'impliquent pas nécessairement un bâti plus ancien et peuvent tenir, par exemple, à la présence de quelque grand batholite.

Dans les terrains anciens de la haute Zéïa, les jeux alpins en sont restés, à l'ordinaire, aux plus grands rayons, et la pénélaine n'y est que largement gauchie. Ce contraste, à l'égard des objets mieux réglés qui prévalent entre Zéïa et Bouréïa, au-delà de la Bouréïa et dans l'extrême nord mandchourien, tient au plus grand éloignement de la résistance nucléaire que nous avons été conduits à supposer au moins en profondeur, dans les parages de la boucle du Soungari.

En somme, les mieux réglés de ces plis de fond s'ordonnent, des deux côtés de l'Amour, en un faisceau assez généralement convexe au sud, qui remplit à peu près le segment compris entre le précédent diamètre et la mer d'Okhotsk, avec un jeu qui semble commandé par le saillant aldanique du noyau sibérien et par un rentrant correspondant du côté sinien.

Il ne sera pas question, ici, de marquer l'influence des conformations nucléaires sur les vieux plis. Notons cependant qu'un rebroussement ou un enchaînement très aigu se manifeste vers le 121^e entre les directions méridiennes qui sont censées prolonger le Grand Khingan à travers le

bas Argoun et la basse Chilka, et celles qui s'alignent à l'est un peu sud en amont du confluent de ces deux rivières. La disposition rappelle celle que marquent les plis de fond en plus d'un point de ce même diamètre.

Sur de très grandes longueurs, les directions anciennes s'alignent à l'est-sud-est, au sud-est, comme il se voit dans les bassins de la Zéïa, de la Selemdja, de l'Amgoun et ailleurs ; il leur arrive alors de traverser presque normalement les plis de fond et leurs voussoirs, circonstance qui n'est pas rare non plus, comme on sait, en Transbaïkalie. Par places, des arcs et des boucles de raccord se dessinent avec des directions changeantes.

XXI

Dans leur plan, leurs rayons de courbure et leur propension à casser, les grands plis de fond du segment de l'Asie centrale montrent une distribution et des degrés qui ne sont pas fortuits.

Le rayon de courbure dépend d'au moins quatre facteurs : l'intensité de l'effort tangentiel ; sa durée ; le degré de figé ; la distance au bord des noyaux aptes à provoquer des reviviscences. L'effort tangentiel utile est réglé, sur chaque diamètre, par le jeu de la puissance et des résistances externe et interne. A égale plasticité de la masse encadrée, ou milieu interne, le rayon de courbure tend à croître avec la distance aux bords reviviscents. L'aptitude à casser en grand dépend du figé et du rayon de courbure. Quant au degré de figé, de résistance à la déformation plastique, on va voir qu'il dépend en une large mesure — quand il s'agit de vastes massifs où les plasticités locales peuvent s'éliminer, en première approximation, dans un effet d'ensemble — de l'inégale ancienneté des vieux bâtis plissés.

Essayons de pénétrer le jeu de ces interactions. Et d'abord en plan. On ne connaît pas, en dehors des chaînes à fond hercynien, de ces formes encore souples qui rappellent celles des chaînes issues de géosynclinaux : arcs du Nan-Chan avec leurs extrémités parfois menues ; virgations à la manière du Kouen-Lun ou du Tien-Chan ; arcs de détail plus ou moins imbriqués. Puis en élévation. Le Tien-Chan, l'Alataou dzoungare, le Tarbagataï et la partie hercynienne de l'Altaï Russe sont tous dans le segment indo-sibérien. Les conditions du figé et du jeu dynamique étant en grand les mêmes, il reste pourtant que les rayons de courbure moyens dominent dans les trois premières chaînes, et les grands rayons dans le dernier massif, trop distant à la fois du noyau sibérien et de la résistance sérindienne. Le Tien-Chan, l'Alataou dzoungare et le Tarbagataï sont du reste, beaucoup plus que l'Altaï Russe, ornés de ces grandes cassures plus ou moins longitudinales dont le nombre et l'importance doivent évidemment croître à mesure que diminue le rayon de courbure.

L'Altaï Russe hercynien ; l'Altaï Mongol, le Khangai en partie antédévoniens sont à la même distance des noyaux reviviscents : quelle différence,



pourtant, dans la manière de casser ! Les grandes fractures en long repa-
raissent dans ces pâtés anciens, mais combien imposantes, à l'égard de
tout ce que l'Altaï Russe peut offrir ; combien raides, dans ce style de la
région des Lacs, comparées à ce que montre le Tien-Chan pourtant telle-
ment mieux en situation de casser. Les jeux raides semblent aussi prévaloir
dans les voussours transbaïkaliens, où la lourdeur du plan est très frappante,
et dont le matériel de fond est, pour une partie, d'âge fort ancien. Dans
tous ces vieux massifs la déformation s'est arrêtée, d'ordinaire, aux grands
rayons : c'est à ce degré du plissement de fond qu'ont été obtenues les
tensions nécessaires pour faire naître les plus grandes cassures. En pays
principalement hercynien, ces tensions n'ont été atteintes, dans la règle,
qu'une fois les rayons moyens réalisés.

Entre tous ces objets paraît la solidité du noyau sibérien qui en est
resté, lui, aux plus grands rayons. Une proche couronne de plis de fond
l'entoure : Saïan oriental et Transbaïkalie, à voussours assez bien réglés.
L'influence du noyau reviviscents paraît ici dans sa force.

En somme, le figé augmente avec l'âge des bâtis. Les massifs les plus
anciens sont ceux qui présentent la moindre plasticité moyenne, et il y a
des degrés à cet égard. Comment expliquer ce fait d'ordre en quelque
sorte statistique ?

La recristallisation des sédiments et la mise en place des granites contri-
buent, pour un temps, à cet effet. Mais le premier facteur, en jouant
par cycles répétés, peut entraîner, quant à la plasticité générale, des varia-
tions qui ne sont pas toutes de même signe. Les mises en place de granites,
répétées par cycles, se traduiront par une augmentation du tonnage
résistant, d'où un certain accroissement du figé moyen pour le bâti pris
dans son ensemble. La cimentation, la minéralisation, le remplissage des
fentes contribuent sans doute à l'induration progressive des bâtis. Il
convient de faire intervenir surtout les traitements mécaniques subis par
les roches, en passes indéfiniment répétées au cours de nombreux cycles.
Ils se traduisent par des compressions intimes, par des *battages* qui peut-
être n'atteignent que fort tard leur limite, et dont l'effet est comparable,
jusqu'à un certain point, à celui des battages industriels auxquels on
soumet divers métaux. Il ne faut pas, du reste, se faire une idée exagérée
de ces différences de plasticité moyenne entre vieux bâtis figés. L'import-
ance de ces différences tient bien plus à la grande sensibilité avec laquelle
les plis de fond y réagissent, et au fait qu'elles se distribuent par masses
énormes, qu'aux différences des coefficients numériques qui serviraient
à les mesurer.

C'est ainsi que les plis de fond de l'Asie centrale contribuent à l'éluci-
dation du mécanisme des plis de fond en général.

L'indépendance des plis de fond par rapport aux vieux bâtis paraît en
cent endroits. De vieux plis morts sinuent en arabesques variées dans le

Tien-Chan et passent d'un pli de fond à l'autre ; d'autres vieux plis
serpentent dans l'Altaï Russe et dans le massif Kirghize ; d'autres enfilent
en biseaux aigus le Tarbagataï ; d'autres croisent le Khara-narin-oula, et
j'en passe.

XXII

L'Oural, avons-nous dit, fait partie de l'aile droite de la virgation
touranienne. Infléchi, par la résistance de la plateforme russe, à peu près
normalement à l'aile gauche engagée entre la Sérinde et l'Altaï Mongol ;
privée, ou peu s'en faut, de tout serrage direct ; actionnée, en somme,
uniquement par des filets touraniens de plus en plus déviés sur leur droite,
cette branche a montré à l'égard de l'aile gauche, au cycle hercynien et au
cycle alpin, des déficiences qui tiennent aux circonstances défavorables
que nous venons d'indiquer.

Au cycle hercynien, le Tien-Chan avait joué en un puissant paroxysme
au Dinantien inférieur, et en un paroxysme postérieur, avec répliques.
L'Oural est non seulement en retard, puisque son seul paroxysme déce-
lable se place entre l'Ouralien et l'Artinskien ; il est encore en défaut par
l'intensité des plissements, la discordance angulaire étant rarement expri-
mée avec force à la base du grès d'Artinsk.

Au cycle alpin, la bâti a joué en un large pli de fond un peu dissymétri-
que, à versant asiatique doux, à versant européen habituellement plus
raide : c'est l'effet de la reviviscence incitée par la plateforme russe. La
défiance, à l'égard de l'aile gauche, se traduit d'abord par l'infériorité du
tonnage, à égale longueur de chaîne. Elle se marque aussi dans les jeux
d'axe, qui en sont restés aux aspects les plus infantiles. Le plateau d'Oufa,
qui cache une éminence du butoir, avait contraint le plan hercynien à
s'infléchir, et cette particularité se retrouve, avec les nuances propres aux
plis de fond, dans le plan alpin. Mais un abaissement d'axe se marque,
dans le pli de fond, au droit du plateau d'Oufa. C'est l'inverse du jeu d'axe
habituel, mais il n'en faut pas conclure qu'il y ait eu une inversion. C'est
par la faiblesse du jeu que les cas de ce genre s'expliquent. Aussi longtemps
que l'effort tangentiel reste au-dessous d'une certaine valeur, l'ascension
du flux derrière l'obstacle ne se produit pas, parce qu'elle exige un excédent
d'énergie qui précisément manque. La matière flue plus aisément dans
les segments libres, mais comme le débit, faute d'énergie toujours, y est
plutôt lent, elle s'accumule presque sur place, en dessinant des arcs modé-
rément courbés, et en montant un peu. Que l'effort dépasse la valeur-
limite : la montée axiale se produira bien vite derrière l'obstacle, et les
masses qui encombraient les segments libres, se trouvant vivement liqui-
dées, marqueront une baisse relative et accentueront la courbure de
leur plan. C'est donc le jeu habituel qui est une inversion du jeu infantile :
le jeu faible change de signe en devenant fort.

Du 57^e au 50^e parallèle, le plan hercynien décrit, dans un de ces segments de jeu aisé, un bel arc convexe à l'ouest. Les plis du bord atteignent le 50^e avec une direction sud-sud-est. Plus au sud, les Mougodjars repartent en direction sud-sud-ouest. Il y a donc sous le 50^e une inflexion rentrante du plan hercynien, analogue à celle que détermine le plateau d'Oufa. Mais la nouvelle conformation résistante que cela suppose est cachée sous d'épaisses couvertures. Là encore la tectonique alpine à plis de fond marque une moindre exaltation axiale qui s'étend, dessinée par de larges restes de dépôts crétacés ou néogènes, du 50^e au 52^e. Comme dans l'exemplaire du 56^e au 58^e, l'ensellement alpin apparaît un peu décalé vers le nord, à l'égard de l'éperon résistant. Les plis hercyniens, par contre, se sont bien mieux adaptés aux deux obstacles : ils avaient l'agilité de plis neufs. Les deux exemplaires alpins marquent la paresse du flux revivissent : effet du figé et de l'insuffisante énergie qui ne permet pas partout l'abordage normal à l'obstacle. Les filets touraniens ne sont pas toujours assez déviés à l'ouest : c'est pourquoi le droit d'un obstacle se trouve souvent au nord-est, du côté amont.

La Nouvelle-Zemble et le Timan, autres plis de fond alpins à matériel hercynien, se rattachent à l'Oural. Les schistes à sérécité que surmonte en discordance le Gothlandien du Timan marquent peut-être la suite des Calédonides scandinaves, en bordure du Précambrien caché sous la plateforme russe. Rien n'empêche de penser que ce Précambrien, dans les régions où les couvertures postérieures au Silurien sont seules visibles, est non seulement bordé, mais peut-être lardé de faisceaux calédoniens qui sinuent dans sa masse.

La persistance du plan hercynien dans les Mougodjars, jusqu'au 48^e parallèle, implique l'extension de la plateforme russe sous une partie au moins des steppes du nord de la Caspienne. Le raccord entre plis de fond, des Mougodjars au Tien-Chan d'entre Syr et Amou-Daria, est vraisemblable : l'intervalle répond au grand abaissement d'axe touranien. Mais ce raccord ne préjuge en rien le tracé des liaisons entre plis hercyniens au travers du segment touranien.

XXIII

L'accident des Gégouli, pli de fond un peu cassé en long à l'avant, paraît former avec l'Erghéni, au travers de cette bordure à plissements méridiens qui court, non sans quelque largeur, à l'ouest de la Volga, un gros pli de fond arqué encore revêtu de son enveloppe de sédiments, un peu compliquée de plis de couverture. Le Gégouli lui-même, de Samara à Syzran, marque une première culmination d'axe ; une autre s'exalte, avant Saratov, par un large dôme qui fait affleurer le Carbonifère, le Jurassique et le Néocomien. La retombée méridionale de cette culmination est

lente : elle se poursuit, pour la Craie, jusqu'à Kamychin ; pour le Nummulitique, encore plus au sud. D'autres intumescences, qui font apparaître par places le Carbonifère, dessinent à l'ouest un alignement parallèle, dans les vallées du Don et de la Medvyeditsa. Tout au sud, vers la dépression du Manytch, l'Erghéni esquisse une conversion au sud-est un peu est, comme pour se placer à l'alignement du Manghychlak et des plis qui arrivent du Touran.

Bien que l'arc Erghéni-Gégouli imite le plan d'une branche de la virgation touranienne, il n'est nullement certain qu'il en fasse partie. Il pourrait n'être dû, en définitive, qu'à une poussée régionale s'exerçant au travers du dispositif à deux gradins constitué par la dépression caspienne et la plateforme russe proprement dite.

Les anticlinaux tertiaires qui doublent l'Erghéni, des deux côtés de la Volga en aval de Sarepta, les lambeaux permo-mésozoïques de l'Inder, du Tchaptchatchi, du Bolchoï Bogdo, du Malyi Bogdo, et quelques autres, paraissent dessiner par leur ensemble un second faisceau arqué, à directions ou à traces un peu brouillées par endroits, mais généralement concentrique au premier, et nettement encadré, à l'intérieur de la dépression caspienne, par le gradin dominant qui court à l'ouest et au nord-ouest.

Les ondulations appréciables qui se distribuent, de la Volga aux abords des monts Oural, dans une partie des couvertures permo-mésozoïques de l'espace compris entre les parallèles 50 et 53, les méridiens 46 et 56, et qui manifestent, avec des incurvations de détail, la tendance à dessiner une convexité plus générale au nord, appartiennent à l'aile septentrionale, fortement infléchie, du double dispositif arqué dont nous venons de parler.

Les alignements qui s'affirment en Russie tabulaire, avec dominance des directions au nord ou à l'ouest-nord-ouest, et toutes ces conformations dont M. KARPINSKY a montré les jeux élégants, parallèles tantôt à l'Oural et tantôt au Caucase, sont des plis de fond, ou des voussours de plis de fond, ou des plissements de couverture, ou un peu de tout cela ; quelques-uns sont d'un style particulièrement large.

Dans le sud surgit un grand pli de fond, enveloppé de dépôts marins : c'est le Caucase. Il est refoulé au sud, comme le Tien-Chan dont il répète, à des détails près, le jeu principal. De la Caspienne aux abords du détroit de Kertch, ce grand bombement d'axe s'exalte, du fait même de l'effort tangentiel, suivant la règle ordinaire du jeu : au droit d'un massif résistant qui est, par delà les arcs iraniens et anatoliens infléchis, le puissant promontoire que l'Arabie lance au nord sous les pays syriens et mésopotamiens. Le noyau ancien du Caucase a communiqué sa déformation à ses couvertures de dépôts, principalement marins ; il les a bousculées au bord sud. Ce pli de fond a jailli du vieux bâti continental en un site marginal à l'égard de la Téthys.

Le charriage bien connu de la Lusace, dont le cheminement se fait vers

le sud-ouest, répète au cœur de l'Europe, à une moindre échelle, ce qu'il y a d'essentiel dans les jeux du Tien-Chan au bord de la Sérinde, ou du Caucase au droit du massif arabe. C'est au droit du massif précambrien de Bohême qu'a surgi du flux général, par reviviscence, le pli de fond dont les tensions intérieures se sont résolues en ce charriage cassant.

XXIV

Des marges nord de la Téthys au bouclier baltique et au massif hébridien, toute la vieille Europe, faite de plis périmés, a ondulé en larges plis de fond qui ont cassé. Le jeu n'a pas été essentiellement différent de celui des masses asiatiques qui vont, en largeur, du Kouen-Lun au noyau sibérien, du Touran à la mer Glaciale. Mais il a été beaucoup plus faible. Faute d'énergie, l'Europe est une Asie inachevée.

Il peut paraître surprenant d'expliquer l'Europe par l'Asie. Mais à bien voir les choses, ce n'est que naturel. L'Asie, métropole des plis de fond, montre le jeu dans sa force, dans sa plénitude grandiose, dans son inépuisable variété, et les aspects faibles s'y rencontrent par places, autant qu'il le faut pour éclairer les jeux d'ailleurs. Disposées en un seul tènement continental, l'Europe et l'Asie ont en grand une seule histoire.

Il semblera plus surprenant encore d'appeler à l'existence les horsts et les bassins de l'Europe centrale, de l'Europe occidentale, par un effort tangentiel ; d'en faire, sauf des cas très particuliers, des voussoirs de plis de fond et non plus des voussoirs de jeu radial. Mais à presser les analogies avec l'Asie sans oublier les différences, on verra que les premières sont fondamentales et les dernières de détail.

La diagnose du jeu des plis de fond, en Europe, exige des précautions nombreuses qui tiennent à la petitesse de l'échelle, à l'extrême complexité du dispositif des plis morts et à la faiblesse relative des efforts.

En raison du figé, les plis de fond ont besoin de beaucoup de matière pour se développer suivant leurs lois propres : on conçoit donc qu'aux échelles trop petites, leur jeu soit plus entravé, à égal effort, qu'il ne l'est dans un grand volume. A plus forte raison les conformations infantiles dominant-elles quand l'effort est faible. De plus, la petitesse de l'échelle restreint l'usage qu'on peut faire de la notion de plasticité moyenne : les effets dûs aux plasticités locales ne sont pas plus importants, absolument, qu'en un vaste continent, mais ils le sont relativement.

La complexité de l'agencement des anciens bâtis, d'âge différent et distribués par petites surfaces, agit dans le même sens.

En un continent largement construit, la faiblesse de l'effort entraîne celle des reviviscences par plis de fond. Le jeu demeure souvent infantile, mais du moins s'affirme-t-il sans beaucoup d'entraves et de complications locales. Cette condition a été celle de la vieille Asie entre la clôture du

cycle hercynien et l'aube des grands paroxysmes alpins, c'est-à-dire au Mésozoïque et aux premiers temps tertiaires. Des reviviscences modérées se marquaient, pour le moins, au bord sud de la Sérinde. A l'échelle supérieure, la synergie des noyaux siniens, sibérien, sérindien et autres, en quelque sorte retrouvés, au travers de leurs enveloppes un peu moins figées, par l'effort tangentiel, maintenait, avec de légères oscillations verticales, le jeu de la grande culmination d'axe qui faisait une Terre de l'Angara. Le bon réglage cylindrique qui domine dans les plis de fond de l'Asie peut avoir, par places, débuté assez tôt, mais dans sa forme achevée, il est l'œuvre des paroxysmes tertiaires et de leurs répliques. A ce point de vue l'Europe, moins dotée d'énergie, est presque partout en retard : ce continent en est, de nos jours, à une condition intermédiaire entre les deux états de l'Asie que nous venons de rappeler. Le réglage cylindrique, comme les autres caractères des plis de fond, y est souvent faible, et comme en train de se dégager peu à peu des formes à grand rayon de courbure.

Si les plis de fond ne sont pas parvenus, en Europe, à s'imposer avec la même force qu'en Asie, ils ont néanmoins retravaillé tout le bâti. Ils ont mis partout leur empreinte. En observant les précautions dont nous avons parlé, en tenant compte des circonstances que nous venons d'évoquer, on retrouvera sans peine, dans l'apparente confusion des horsts et des bassins, les règles ordinaires du jeu des plis de fond.

Les gauchissements de pénéplaines, ces excellents détecteurs des plis de fond alpins, nous guideront non moins que les autres éléments d'appréciation.

On relèvera d'abord une distribution des styles prédominants en zones qui se succèdent de l'ancienne marge méridionale du continent, tournée vers la Téthys et aujourd'hui recouverte par les nappes alpines, aux antiques massifs septentrionaux, bouclier baltique et massif hébridien-laurentien.

Notre première zone de plis de fond, qui est aussi ce que Charles LORV, en un tout autre sens, appelait la première zone alpine, est faite de ces modestes plis de fond, étroits, de rayon moyen, parfois un peu cassés en long, qui paraissent dans les massifs de l'Aar, du Gothard, du Mont-Blanc, des Aiguilles-Rouges, de Belledonne, des Grandes-Rousses, du Pelvoux et du Mercantour. Leur histoire est compliquée : pour plusieurs d'entre eux, on peut déceler les jeux successifs de l'intumescence, en passes alternées, avec des ascensions et des descentes qui répondent à des maxima et à des minima de l'effort tangentiel, depuis le Lias inférieur. Le gros de leur courbure actuelle date des derniers temps du paroxysme oligocène, car cette courbure s'est communiquée aux nappes sus-jacentes ; elle s'est un peu accentuée pendant les répliques tardives. Les plus internes de ces plis de fond se compliquent souvent de charriages cassants ; les plus externes, moins ébranlés, gauchissent par grandes dorsales plus ou moins cylindriques ; en avant s'étendent des fonds beaucoup moins déformés qui

marquent le passage à la zone suivante. Ces petits plis de fond de la première zone sont dûs, pour l'essentiel, à de l'énergie restituée à la marge continentale par les grands plis couchés penniques. La part des énergies proprement intra-continetales n'y est pas décelable avec certitude. Les plis de fond les plus méridionaux du Kouen-Lun, au bord de l'ancienne Téthys, peuvent avoir été actionnés de la même façon.

La deuxième zone comprend le Massif central de la France et le dôme formé par l'ensemble des Vosges et de la Forêt-Noire. C'est le règne des intumescences larges en tous sens, peu ou point réglées, et les plus grandes cassures y sont subtransversales, à direction générale méridienne, avec un plan légèrement incurvé.

La troisième zone comprend le gros du massif armoricain, avec un commencement de réglage dans les grands rayons, en direction ouest un peu nord.

La quatrième zone, Cornouaille anglaise, Ardenne, massif schisteux rhénan, marque un léger progrès du réglage, de rayon un peu moins grand.

La cinquième zone, Forêts de Teutobourg et de Thuringe, Harz, bordures nord-est du massif bohémien, horsts de Silésie et de la Lysa Gora, avec les fossés intermédiaires, réalise un nouveau et considérable progrès du réglage. Intumescences et fosses gauchies s'alignent, sauf contournements locaux, du nord-ouest au sud-est ; les cassures post-hercyniennes les plus importantes sont pareillement dirigées : ce sont, à l'égard des plis de fond alpins, des cassures en long. Le rayon de courbure moyen a encore diminué. Le réglage cylindrique, sans atteindre, il s'en faut, à la perfection et à la puissance des grands plis de fond de l'intérieur de l'Asie, ne laisse pas d'y faire penser ; la dominance des cassures en long est un indice de même sens.

De la deuxième à la cinquième zone, tout porte la marque d'une reviviscence déclenchée par les antiques butoirs septentrionaux, et dont les effets s'accroissent à mesure que les plis de fond éprouvent de plus près l'influence des vieux noyaux. En cheminant dans cette direction, on voit le rayon de courbure diminuer, le réglage se préciser, les alignements se rectifier, les cassures en long augmenter de fréquence. Les plis de fond, par cette distribution et avec ces degrés, montrent le même jeu qu'en Asie : les différences sont d'ordre quantitatif. Les cassures en long, à ce point de développement, suffisent aussi à marquer les règles du jeu, mais non à l'emporter, aussi complètement qu'en Asie, sur les cassures de direction quelconque qui se forment avant que le réglage soit bien amorcé. De cette dernière circonstance provient, pour une bonne part, la complication des contours des horsts européens.

De la deuxième à la cinquième zone, le matériel mort est presque exclusivement hercynien : on peut donc parler, en grand, d'une plasticité moyenne, ce qui rend les jeux comparables d'ailleurs. On pourrait alléguer, il est vrai, la résistance un peu plus grande que l'abondance des roches cristal-

lines entraîne pour les massifs visibles de la deuxième zone, et expliquer par ce facteur, en partie, les déficiences du jeu des plis de fond dans ces parages. Mais cette vue des choses, fût-elle poussée à l'absolu, n'en laisserait pas moins subsister le reste de la progression.

Le noyau précambrien de la Bohême, un peu plus figé que ses enveloppes paléozoïques mais trop petit pour faire tête avec la même résistance que les grands massifs précambriens du nord, a été engagé dans le jeu de la cinquième zone de plis de fond. Son rôle, toutefois, n'a pas été purement passif ; c'est lui qui a déclenché le charriage de la Lusace et dans le même genre, quelques autres affaires. C'est lui aussi qui a maintenu localement, au milieu des étroits voussours de plis de fond qui dominent en pays hercyniens, un style plus large et plus rigide qui exprime une autre manière de réagir aux efforts alpins. Toutes proportions gardées, et toutes différences reconnues, sa position et son rôle tectoniques, entre le massif baltique et l'ancien bord continental sud, le font ressembler au massif sérindien, entre le noyau sibérien et la suite du même bord. Comme la Sérinde, le noyau bohémien a joué le rôle de diviseur à l'égard des plis paléozoïques ; comme la Sérinde à l'égard de la Sibérie, il a augmenté, sur les diamètres qu'il intercepte, la synergie avec le massif baltique et le serrage des plis de toute date postérieure à la sienne ; comme la Sérinde il a provoqué des reviviscences par plis de fond, avec charriages cassants. Il a manqué à la Sérinde d'être partiellement recouverte, comme lui, par des nappes issues du géosynclinal alpin. Au surplus, il a passablement souffert, sur ses lisières, d'être encastré entre les plis de fond alpins qui ont surgi sur toute sa marge et souvent mordu dans ses bords, en exaltant la périphérie tantôt dans les bâtis paléozoïques, tantôt dans le bâti précambrien. La suite du massif, au sud-est, est cachée sous les dépôts néogènes de l'avant-fosse et sous les nappes carpathiques.

Ce qu'on voit de la cinquième zone s'abaisse rapidement, tout à l'avant, sous le remplissage oligocène, néogène et quaternaire du large sillon de l'Allemagne du Nord. Des sondages profonds ont révélé, dans cet abrupt et plus au nord, la persistance de la structure en voussours alignés. L'abrupt lui-même, considéré en grand, n'est qu'un *avant* de chaîne de fond, à regard raide, dissymétrique, tourné au nord-est, et particulièrement cassé en long par suite de la diminution du rayon de courbure.

Le sillon lui-même forme une sixième zone dont on ne pourrait dire beaucoup, si quelque chose de ses jeux profonds ne transparaitait tout au nord, en Danemark, sous les auréoles doucement incurvées de la Craie et du Tertiaire. Ces auréoles sont les traces de plis de faible dénivellation, mais de très grand rayon de courbure et d'aire considérable. Or la prédominance des très grands rayons par grandes surfaces exige la déformation d'un très grand tonnage, si grand, nous l'avons dit, qu'aucun plissement de couverture n'en peut rendre compte. Il faut donc regarder comme pro-

bable, ici, la participation du fond de vieux plis, gauchi à grand rayon et transmettant sa conformation à la couverture ; en un mot, il faut admettre des plis de fond dans lesquels domine un style particulièrement large. On n'entend nullement, par là, soutenir que de vrais plis de couverture n'aient pas joué par places. L'alignement de ces plis de fond est au sud-est un peu est, à en juger par le très large synclinal dont l'axe traverse le Jutland, gagne la côte entre Fredericia et Aarhus et croise encore le Sjaelland en gardant la même direction d'ensemble. Il s'agit ici, bien entendu, de la direction des plis et non des sinuosités décrites par leurs traces.

On ne peut rien savoir, pour l'heure, de l'âge et de la nature de ce fond reviviscent. Mais le grand rayon de courbure indique un fond très figé, vraisemblablement anté-hercynien. Car si le fond était hercynien, la croissance du rayon, à l'égard de ce qu'il est dans les zones plus méridionales, aurait des chances de correspondre à un affaiblissement de l'effort reviviscent, chose peu probable à l'approche du butoir, sauf conditions très particulières. Il reste donc que le fond soit déjà le bouclier baltique lui-même ; ou cette grosse branche calédonienne que bien des raisons inclinent à faire tourner sous la mer du Nord et sous les plaines, au sud-ouest et au sud du bouclier ; ou les deux choses à la fois.

La septième zone, qui comprend les voussoirs de la Scanie et de Bornholm, a mordu dans le massif précambrien. Le figé est très élevé ; tout en est resté aux très grands rayons et les tensions nécessaires à la production des cassures longitudinales ont été atteintes à ce degré du plissement de fond, qui a d'ailleurs exigé, en un tel milieu, un notable déploiement d'énergie.

Plus au nord il est permis, en un certain sens, de faire une huitième zone de ce gros de la Suède méridionale, éperon avancé et particulièrement exposé du bouclier baltique, si éprouvé, dans cette région, par de larges gauchissements et par de puissantes cassures curvilignes, si morcelé en larges voussoirs de jeu varié, et fréquemment basculés. Certes il ne saurait être question, en un milieu aussi rigide, de plissement bien réglé ; les grandes cassures ont dû succéder de très près aux débuts de la déformation par gauchissement. Il n'en est pas moins vrai qu'un tel jeu peut être regardé simplement comme un cas extrême des jeux plus pliants que nous ont révélés les zones moins septentrionales de la vieille Europe ; qu'il s'est produit avec cette puissante énergie précisément à l'endroit le plus exposé aux poussées tangentielles venues du sud, et que ces deux arguments se corroborent. En sorte que sans prétendre écarter, pour une part, les explications par des jeux disjonctifs ou distensifs, il y aurait excès à penser que les compressions horizontales qui ont si notablement déformé le reste de la vieille Europe aient épargné ce coin du bouclier baltique. La zone la plus défoncée passe graduellement, vers le nord, à des régions moins disloquées par les jeux alpins. Le système de voussoirs qui loge les grands lacs lui appartient

encore ; une ligne convexe au nord-ouest, allant de Göteborg à Stockholm, marque approximativement les lisières de la région la plus bousculée.

Au-delà s'étendent, sur le reste de la Fennoscandie, des fonds plus régulièrement gauchis, et quelque crédit qu'on doive accorder, pour les temps finiglaciaires et actuels, à la belle hypothèse des jeux isostatiques ; quelque part qu'on puisse encore faire à l'isostasie, pour des temps géologiques plus reculés, dans l'explication de gauchissements plus anciens et répétés ; quelques précautions qu'on doive observer, pour des mouvements de cette extension, de ce rayon de courbure et de ce tonnage, à l'endroit d'explications par du plissement, il n'en reste pas moins que les plis de fond marquent une précieuse transition entre les plissements ordinaires et les déformations de cette espèce : en sorte qu'il y aurait imprudence, en l'état nouveau, à éliminer la part que l'effort horizontal prend à de tels jeux. La question de savoir si on peut regarder les plus vastes boucliers, du style de la Fennoscandie ou de la Laurentia, par exemple, comme de très larges plis de fond, comme des *brachyanticlinaux de fond*, ne saurait donc être écartée en un tour de main, et nous reviendrons sur ce point important.

La chaîne calédonienne de Scandinavie, en son état présent, est un fragment d'un puissant pli de fond alpin, effet d'une reviviscence à large rayon provoquée par le bord occidental du bouclier baltique. Car personne n'admettra que son relief actuel, et l'altitude de ses pénélaines gauchies, soient imputables aux mouvements calédoniens.

Il importe d'ajouter qu'aucun de ces grands jeux d'âge alpin, à compter de la deuxième zone, n'est attribuable à un contrecoup lointain du plissement des Alpes et des autres chaînes géosynclinales de ce cycle. C'est exactement le contraire qui est vrai. Les plis de fond de l'Europe montrent, et nous l'avons fait voir, une progression des jeux qui s'accroît à mesure qu'on s'éloigne des Alpes et que diminue la distance aux butoirs septentrionaux. En Europe comme en Asie, le tonnage des plis de fond est un multiple élevé de celui des chaînes géosynclinales, et il est d'une matière qui exige, à égal volume déformé, beaucoup plus d'énergie. C'est donc le jeu des plis de fond, ce plissement de la masse continentale entière, qui l'emporte et de beaucoup ; le reste n'est que dérivation d'énergie. Les petits plis de fond de la première zone sont les seuls, en définitive, qui soient dus à l'énergie restituée.

Le flux qui s'est exprimé dans les plis de fond de l'Europe centrale s'écoulait donc, en moyenne, au nord-est. Cette direction générale paraît avoir marqué, au cours des temps, de très lents changements d'azimut, habituellement maintenus entre le nord-est et le nord. Des renversements momentanés du sens sont probablement intervenus. Des inflexions de caractère plus local, que nous pouvons passer, se marquaient dans les filets d'écoulement à l'approche de noyaux résistants.

L'inflexion bien connue que marque le plan hercynien, à peu près suivant le méridien de Paris, du Massif central au bassin houiller franco-belge, paraît avoir été commandée, en définitive, par le gros saillant que le bouclier baltique montre dans la Norvège méridionale. Il est probable que la même conformation s'est imprimée, antérieurement, dans les faisceaux calédoniens qui passent entre ce saillant et le bord septentrional de la chaîne hercynienne. Cette ceinture calédonienne a été, pour le front hercynien, l'obstacle immédiat, et le saillant norvégien l'obstacle médiateur.

Mais passons aux jeux d'axe des plis de fond alpins. Ces conformations n'ont pas de rapport nécessaire aux directions anciennes, la direction du flux ayant varié au cours des temps.

Menons donc un diamètre passant par l'estuaire de la Gironde, le seuil du Poitou, Paris et la mer du Nord. Ce diamètre marque, à l'égard des plis de fond, l'axe d'un segment déprimé, d'une zone d'ennoyage des axes, comparable à beaucoup d'égards au segment touranien.

De part et d'autre de ce *segment parisien*, tout s'exalte au droit du massif baltique et du massif hébridien-laurentien. A l'est tous les plis de fond, tous les voussoirs, Ardenne, Sauerland, Forêt de Teutobourg, marquent une montée d'axe ; et tout le pâtre de horsts qui de là s'étend jusqu'à la Vistule forme bien, en grand et exactement au droit du bouclier baltique, une culmination axiale imparfaite, un peu chaotique, compliquée d'abaissements locaux, inachevée et remaniée, mais évidente. A l'ouest du segment parisien se marque une exaltation tantôt légère, tantôt forte, des axes : Cournouaille anglaise, Armorique, Meseta ibérique. Le dispositif, pris en son entier, montre la prédominance du jeu ordinaire : culmination au droit d'obstacles hauts ou forts ; exaltation moindre dans les segments libres, au droit d'obstacles bas ou faibles (Fig. 11).

En présence de ces rencontres, trop nombreuses pour être l'effet du hasard, on ne peut se refuser, croyons-nous, à admettre pour l'Europe la réalité des plis de fond et des actions tangentielles qu'ils supposent.

Et comment, si on l'admet, se refuser tout-à-fait à l'idée que de grandes cassures méridiennes comme celles du Massif central, du fossé rhénan, voire même de la Suède méridionale, soient dues pour une part à des tensions d'origine plicative, à des *décrochements de fond* ? Cette hypothèse peut surprendre, mais moins en somme que celle de fractures radiales, c'est-à-dire de jeu originellement vertical ; elle s'apparie d'ailleurs fort bien à l'hypothèse de fractures distensives, par traction horizontale, et rien n'empêche de penser que les deux jeux aient alterné, l'un et l'autre étant aptes, au surplus, à se compliquer de déplacements verticaux contemporains du mouvement principal, ou postérieurs à lui, en combinaisons infiniment variées. En ce genre de problèmes, les solutions les plus complexes ont bien des chances d'être vraies.

Les Pyrénées, qui s'alignent avec la demi-raideur d'un petit Tien-Chan,

et presque d'un Caucase, sont pour l'essentiel un paquet de plis de fond à matériel hercynien, qui ont passé par une phase de bon réglage en déformant leurs couvertures, cependant qu'à l'avant se dessinait, du même coup, un sillon juste assez marqué pour ressembler un peu plus à un géosynclinal. En s'accroissant, les plis de fond ont cassé par nappes semi-rigides qui ont bousculé et plissé les dépôts du sillon, les ont recouverts en partie et ont déterminé, plus à l'avant, quelques plissements de couverture. Quelques jeux andins, en des temps éocènes et au Cénomaniens, ont précédé de loin le gros des mouvements tertiaires.

Entre tous les plis de fond qui ont joué, au nord du bord septentrional de la Téthys, dans la masse de la vieille Europe, les Pyrénées montrent ainsi le jeu le plus achevé. Comme on chercherait en vain, au nord de la chaîne, un massif anté-hercynien capable de provoquer une telle affaire, il convient d'attribuer cette reviviscence aux différences de plasticité les plus largement distribuées du bâti hercynien lui-même.

Une forte exaltation axiale s'est marquée, aux temps hercyniens, dans ce qui devait être le Massif central de la France. En conséquence, les érosions post-hercyniennes ont liquidé, à quelques lambeaux près, le manteau de sédiments paléozoïques demeurés normaux, et profondément mordu dans les terrains cristallins. Ce qui subsiste du granite et de ses enveloppes métamorphisées est à bonne hauteur pour provoquer des reviviscences dans des bâtis de même âge et de figé un peu moindre en moyenne. Il est évident, d'ailleurs, que les fonds endurcis par larges aires ont une extension notablement supérieure à celle du Massif central actuel. En sorte que nous vérifions ici le cas où une masse nucléaire est de même âge que le bâti dans lequel elle incite un jeu de plis de fond. On n'entend nullement, par là, soutenir que des causes plus locales, propres au fond pyrénéen lui-même, ne soient pas intervenues dans la localisation de ce jeu. Le fait que la reviviscence s'est produite au seul côté sud de la masse nucléaire confirme en outre l'écoulement du flux profond vers le nord un peu est, direction qui rentre bien dans les azimuts les plus fréquents sous la vieille Europe.

La Meseta ibérique tout entière a ondulé par larges plis de fond alpins, orientés de l'ouest-sud-ouest à l'est-nord-est, sans le moindre égard à la direction des vieux plis mais parallèlement à la Cordillère bétique. Les synclinaux de fond, très aplatis, logent des dépôts néogènes et quaternaires. Ils passent des bassins portugais aux bassins castillans, mais une culmination d'axe, compliquée de quelques gauchissements secondaires, passe en direction générale de Séville à La Corogne et empêche ces dépôts de dessiner, de l'une à l'autre région ennoyée, des sillons continus : dans l'intérieur de la Meseta, des alignements de petits bassins marquent cependant le passage des synclinaux de fond. Il y a un grand synclinal principal, Lisbonne-Madrid ; la vallée du Tage est essentiellement une épigénie à partir de ce synclinal de fond. Un autre synclinal régit, avec les mêmes conséquences, la vallée

de la Guadiana de Badajoz en amont. Un troisième synclinal se dessine en direction Coïmbre-Salamanque. Les deux bassins castillans ne sont que l'ennoyage oriental de tous ces plis de fond. Des cassures dirigées comme les plis de fond délimitent sur de notables longueurs, dans les dorsales gauchies, ces magnifiques voussoirs qui s'avancent vers l'est, en échancrant ou en séparant les bassins castillans. Mais des cassures, quel qu'en soit le rejet, sont toujours très peu de chose dans un si grand volume déformé, et l'énergie employée à les produire n'est qu'une minime fraction dérivée de l'énergie de déformation.

Ces puissants plis de fond ibériques sont dûs, pour l'essentiel, à l'énergie intra-continentale. On n'a aucun indice permettant de dire si, dans l'extrême sud, face à la Cordillère bétique, un peu d'énergie restituée a déployé ses effets. Ce dernier jeu, s'il s'est produit, a été faible.

L'ennoyage qui caractérise le segment parisien est d'ailleurs bien marqué, de l'autre côté du golfe de Gascogne, par l'abaissement d'axe que révèlent, entre les Pyrénées et leur prolongement cantabrique, des dépôts mésozoïques qui prédominent sur une centaine de kilomètres de longueur. Au-delà, le diamètre déprimé passe entre les blocs paléozoïques de la Sierra de la Demanda et de la Sierra de la Virgen ; plus au sud, le gros du bassin de la Nouvelle-Castille appartient encore à la région déprimée. A quelque cause qu'on doive attribuer l'ouverture du golfe de Gascogne et l'origine de ses grandes profondeurs, il faut donc que les plis de fond, dans leurs traits principaux, soient antérieurs à tout cela ; il faut que la France et l'Espagne, sur l'emplacement actuel du golfe, aient été d'un seul tenant. Il est intéressant de remarquer que dans l'hypothèse de l'affaissement et de la fixité du bloc continental, bien des traits demeurent, de part et d'autre, un peu disparates. Avec les translations continentales par contre, il est aisé de constater, le talus espagnol étant rabattu à l'alignement ou au voisinage du talus français, que les plis de fond ibériques sont ramenés à une direction est un peu sud, très rapprochée de celle qui prévaut dans les autres plis de fond de l'Europe et identique à celle du pli de fond armoricain, cependant que le diamètre parisien prend en Espagne la même direction générale qu'en France.

La grande culmination d'axe des plis de fond ibériques se fait au droit du massif hébridien, quelque idée qu'on se fasse d'ailleurs de la mobilité du continent ou de sa fixité. Il en est de même, nous l'avons vu, de l'Armorique et de la Cornouaille ; il en est de même, encore, pour toutes ces hautes terres de l'ouest et du nord de la Grande Bretagne, particulièrement exaltées en masse au plus près de l'obstacle, en Ecosse. Il est clair qu'aux époques où s'est affirmée, de Séville aux Highlands, cette puissante culmination de plis de fond, le massif hébridien doit avoir été beaucoup plus étendu et plus soutenu qu'aujourd'hui. Le massif laurentien était là, ou ce qui unissait le massif hébridien au massif laurentien. Il est d'ailleurs probable

que le jeu d'axe ordinaire, dans la partie britannique du dispositif, n'a pas été partout réalisé dans sa pureté, l'influence de cette vaste résistance occidentale aujourd'hui évanouie et autrefois capable de dévier une partie des filets d'écoulement à l'ouest et à l'ouest un peu nord, n'étant pas inconcevable.

Tel est, en ses maîtresses lignes, ce grand jeu alpin qui a pétri, ployé et cassé les fonds figés de la vieille Europe. Il ne s'agit pas, il va de soi, de revenir à l'époque où un Harz, ou encore chaque chaînon du Great Basin était regardé comme un anticlinal. Notre distinction des plis de fond et des voussoirs de plis de fond répond à cela. Les horsts visibles peuvent être beaucoup plus étroits que les plis de fond dans lesquels ils se découpent. Inversement, rappelons qu'il fut un temps où chaque *swell* des Montagnes Rocheuses était regardé comme un horst.

Plus ou moins encadrés dans de larges synclinaux de fond, ou dans des espaces déprimés entre voussoirs saillants, bien des plis de couverture ont joué, en Europe, aux temps alpins, et beaucoup ont marqué une petite phase andine. Inutile d'insister sur ces jeux dont j'ai parlé ailleurs et qui sont, dans la plupart des cas, de minimes répercussions du plissement de fond.

XXV

Quelques remarques dont la portée est générale peuvent trouver place ici.

Dans tous les continents, annexes comprises, les plis de fond l'emportent par le tonnage, et plus encore par l'énergie qu'ils consomment, sur les chaînes neuves, que ces chaînes soient issues de géosynclinaux ou simplement de talus monoclinaux, face à l'océan ouvert.

Le plissement de fond, c'est le plissement de la masse continentale même, dans ses profondeurs plastiques et dans ses hauts où règne, à des degrés divers, une plasticité moindre. Les profondeurs sont le siège d'une déformation plus régulière, moins inégalement répartie qu'elle ne l'est dans les hauts. Dans cet écoulement que nous avons appelé un *flux plastique*, le sens horizontal domine. Les hauts hétérogènes, y compris la sub-surface et la surface, retardent et s'adaptent comme ils peuvent, en prélevant de l'énergie sur le flux profond : de là les plis de fond, leurs reviviscences, leurs gauchissements et, par une nouvelle dérivation sur place, leurs cassures. L'énergie mise en jeu déforme ainsi la masse entière du continent, et non plus seulement le remplissage frais et très plastique des géosynclinaux. Le jeu de ces chaînes neuves résulte, au principal, d'un prélèvement fort modeste fait sur l'énergie qui joue dans la masse des continents.

Nous n'avons fait aucune hypothèse, jusqu'ici, sur l'origine du flux ; nous nous sommes borné à déceler sa distribution dans l'espace, ses variations dans le temps, ses effets sur le plissement de fond et sur celui des chaînes neuves.

M. Bailey WILLIS a le premier usé en grand de la notion de flux dans son étude de 1893 sur la mécanique des plissements appalachiens. Le flux, véritable sous-courant, y est regardé comme le résultat d'une exigence d'équilibre isostatique ; il est censé couler horizontalement, du tréfonds descendant d'une zone surchargée de dépôts au tréfonds montant d'un territoire déchargé par les progrès de l'érosion. Plus tard, M. Bailey WILLIS a donné une théorie de l'Asie qui part de prémisses analogues. D'autres auteurs ont repris la notion de sous-courant, assez récemment, en la présentant dans des arrangements théoriques divers. Nous-même, jusqu'à ce point, n'avons usé des flux que comme d'une hypothèse propre à rendre compte, par un jeu continu, de conformations visibles manifestement liées entre elles. Nous nous sommes ainsi réservé toute liberté quant à la manière d'expliquer le flux lui-même.

L'existence des plis de fond éliminant, dans la plupart des cas, l'hypothèse des mouvements verticaux purs et originaires, et la rendant très problématique dans les autres cas, les conséquences de ce changement de jeu ne peuvent manquer de se faire sentir partout où on a parlé de mouvements épirogéniques et d'autres mouvements verticaux d'origine ; par exemple en stratigraphie et en morphologie. Il convient de reconnaître qu'en bien des cas une simple transposition du langage suffit, ce qui s'est dit des mouvements verticaux purs des blocs continentaux devant s'entendre, désormais, de l'élément vertical du plissement de fond et de ses effets secondaires.

C'est cet élément qui règle, avec le concours d'autres facteurs, la conformation et la disposition de l'assiette des transgressions et des régressions. C'est le même jeu qui déclenche, quand il est ascendant, les cycles morphologiques avec leurs rajeunissements topographiques et tout ce qui en dépend. C'est lui aussi qui favorise, quand il est descendant, l'accumulation et tous les phénomènes d'ennoyage continental ou marin. Les alternances du jeu, elles-mêmes réductibles, en dernière analyse, à un effort horizontal, provoquent celles des conditions topographiques.

M. Bailey WILLIS, dans un ouvrage célèbre, a fortement établi la notion du très jeune âge de la plupart des reliefs de l'Asie. Il en est de même, on le sait, pour une très grande partie des autres terres émergées. Ce que nous venons de dire du jeu vertical des plissements nous semble marquer le lien véritable entre les topographies à plusieurs cycles et les efforts horizontaux qui n'ont cessé de jouer — par compression ou par traction — dans la masse des continents et des bâtis annexes.

Au surplus, nous n'avons cessé de prendre le terme d'effort *tangentiel* comme synonyme d'effort horizontal, ou de jeu horizontal dominant, sans acception théorique d'aucune sorte. Par contre, nous avons conservé à l'épithète de *radiale* tout ce qui s'y est attaché de théorique, au cours de

l'histoire de notre science : mouvement vertical pur, originaire, et notion des grands affaissements de continents.

L'existence d'un certain reste de mouvements verticaux originaires demeure extrêmement problématique, car à prolonger très avant l'interprétation des faits, il semble qu'il n'y ait aucun jeu tectonique, même exactement vertical, qui ne puisse être regardé comme la manifestation ou la conséquence directe ou indirecte, rapprochée ou lointaine, à délai relativement bref ou à très longue échéance, de déformations en volume dans lesquelles prévalent ou ont prévalu des jeux horizontaux.

Remarquons d'abord que dans un milieu plastique à un degré quelconque, aucun déplacement pur, en bloc, suivant une seule direction de l'espace, n'est possible. Il y a nécessairement déformation en volume, et en rigueur, il n'y a pas plus de déplacements horizontaux purs que de déplacements verticaux purs.

Pour des objets de faible étendue, pour de petits vousoirs de la première sub-surface, dont le jeu atteste la part de rigidité qui subsiste localement, on discourt volontiers de mouvements en bloc dans une seule direction, qui est souvent la verticale ou qui en diffère peu. Mais à moins de se restreindre aux échelles les plus petites, cette manière de parler demeure elliptique et bonne seulement en première approximation.

Elle devient d'autant plus inexacte, d'autant plus génératrice d'erreurs latentes ou patentes, qu'il s'agit d'objets plus étendus et plus épais. Un objet tectonique un peu vaste ne saurait se déplacer, en quelque sens que ce soit, autrement qu'en se déformant. C'est fort clair pour les aspects horizontaux des jeux, puisqu'une poussée finie ne peut se transmettre en un milieu plastique sans s'affaiblir à mesure que croît la distance et sans s'épuiser, en fin de compte, dans les frottements internes de la masse. Ce n'est pas moins clair, quoique en un sens un peu différent, au cas ordinaire de milieux inégalement plastiques qui remplissent l'espace, qui s'influencent les uns les autres, et à la limite desquels se produisent des échanges discontinus d'énergie qui favorisent, dans bien des cas, une conduction, une reconduction ou une propagation plus lointaine d'efforts partiels. C'est encore plus clair, si possible, pour l'aspect vertical des jeux ; aucun milieu tectonique, à compter d'une certaine épaisseur, ne peut supporter son propre poids, et si confinée que soit la matière, il n'est pas concevable, généralement et en rigueur, que la trajectoire descendante ou montante décrite par un point soit partout et toujours exactement verticale : un grand nombre de facteurs sont là pour lui imprimer des déviations latérales grandes ou petites.

Le concept de déplacement pur, si fréquemment impliqué, en tectonique, à propos de vingt espèces de mouvements et d'une multitude d'objets concrets, ne saurait donc être manipulé avec trop de précaution. Il ne doit être retenu que comme artifice d'analyse. Au vrai, concevoir un déplace-

ment pur n'est en général rien autre que se représenter, en un point et pour un instant, une tangente à un élément infinitésimal de trajectoire curviligne. Ce n'est qu'au cas très particulier où la trajectoire est rectiligne que l'artifice recouvre, en quelque lieu et pour un temps, une réalité. Dans l'usage courant en tectonique, l'arbitraire consiste non seulement à substituer à la courbe une tangente particulière, mais encore à s'exprimer comme si cette tangente, horizontale ou verticale, était la trajectoire même. Cet arbitraire, on le voit, est moins que sous-entendu : il se cache, implicite, tout au fond de la pensée, et l'erreur qu'il convoie passe trop souvent inaperçue, comme demeure inaperçue, par cela même, la nature réelle des déplacements et des déformations.

Il suffit donc de restituer à l'espace sa plénitude et de penser à la nature des déformations plastiques, pour faire évanouir la notion de déplacement pur et la priver de toute réalité, hormis des cas tout-à-fait particuliers où elle n'est admissible, d'ailleurs, qu'à titre de simplification du langage et de première approximation.

Pense-t-on à l'hypothèse des mouvements eustatiques et au géométrisme un peu simple, un peu niveleur qui en est inséparable ? Personne ne se refusera, assurément, à admettre quelques changements de volume, temporaires ou définitifs, de la masse liquide des océans. La formation et la fonte des grands *inlandsis* ont été regardées, non sans raison, comme liées à des changements temporaires et limités du volume océanique ; je ne dis rien des autres facteurs invoqués, si ce n'est que certains sont plausibles. Quant aux variations de la capacité du vase qui contient la masse liquide, tout porte à les croire fort lentes. En mettant les choses au mieux, sans oublier les déformations générales du géoïde, on voit qu'il n'y aura pas de mouvements eustatiques, mais seulement des effets hydrauliques verticaux qu'on pourra, en première approximation et à plus d'un risque, supposer eustatiques, c'est-à-dire également répartis sur tous les rivages. Ces effets hydrauliques ne pourront manquer de se combiner, par addition ou par soustraction, aux effets verticaux de la déformation proprement tectonique, lesquels sont très compliqués et très inégalement distribués. Les altitudes des lignes de rivage ne sauraient donc fournir, par leurs seules données immédiates, le moyen de doser les effets hydrauliques à part des effets tectoniques, et par conséquent d'affirmer le caractère eustatique des premiers. Qu'il soit possible ou non, par une élaboration des mêmes données, de déceler des effets hydrauliques engagés à l'état de composante dans l'effet vertical d'ensemble — seule réalité directement observable — c'est une question que je laisse de côté pour l'heure. A ces difficultés de la théorie des mouvements eustatiques s'ajoute, pour les terrasses les plus basses, le fait que les dénivellations primitives des surfaces d'abrasion ou des plages marines sont du même ordre de grandeur que les effets verticaux dont on cherche à préciser la mesure et le caractère.

Songe-t-on aux plissements de toute espèce ? Nous avons montré ce qu'on doit penser des aspects verticaux de leurs jeux.

S'agit-il des mouvements des grands dômes, des larges boucliers ou des vastes plateformes ? A plus forte raison saurait-on, à cette échelle, parler de déplacements autrement que comme d'aspects qui prédominent — ou non — dans une déformation dont ils sont inséparables. Quels jeux, dans cette déformation de grand style, sont dominants ou déterminants, ou l'ont été à raison des circonstances variables de temps et de lieu ? Ce sont, contrairement aux premières apparences, les jeux horizontaux. Il est temps d'y arriver.

Le plissement de fond ayant retravaillé, comme nous l'avons fait voir, toutes les zones de plis morts qui bordent ou entourent ces plus vieux massifs, on ne saurait admettre qu'il ait respecté ces derniers, eux-mêmes faits de plis morts plus anciens. Le supposer, ce serait attribuer aux plus vieux massifs une plasticité rigoureusement nulle ; ce serait perdre tout contact avec le réel. Sans doute, et nous l'avons assez marqué, la plasticité de ces antiques noyaux est inférieure, en moyenne, à celle des plis morts moins anciens, mais tout cela n'est que degrés et non différences de nature. On ne saurait donc se dispenser d'attribuer au plissement de fond ce qu'il y a d'essentiel dans le jeu et dans la conformation des amples structures de très grand rayon, des larges dômes, des vastes boucliers, des grandes plateformes. Ces objets sont ou ont été des brachyanticlinaux de fond, ou des complexes de plis de fond. Leur moindre plasticité, qui ne les exempte pas du plissement de fond, leur confère cependant, dans la plupart des cas, une manière propre d'y réagir. La dominance des grands rayons de courbure vient de là. Ils forment butoir, ces mêmes objets, pour d'autres plis de fond en général mieux réglés et de matériel moins ancien ; ils forment encore butoir, dans des conditions quelque peu différentes, pour des chaînes neuves. Mais ce sont, dans tous les cas, *des butoirs qui plient*. Aux époques de compression bien affirmée, ils ont plus d'une fois gauchi en montant, comme les autres plissements, neufs ou de fond, qui appartenaient au même segment qu'eux ; et leur résistance, à l'égard des uns et des autres, s'en est trouvée augmentée dans les hauts, circonstance qui a influencé, à son tour, l'ascension des plis de fond et des plis neufs situés au droit, en renforçant leurs jeux d'axe. Cette causalité réciproque des jeux entre objets qui résistent en pliant, avec des degrés dans la résistance comme dans l'aptitude à plier, est un des traits majeurs de la déformation des continents, et on ne saurait voir en tout cela la marque d'une différence essentielle dans la nature des mouvements, bien au contraire. Les nombreuses reviviscences, tant de fois jouées et rejouées dans le même style, que nous avons décelées, en ont été plus soutenues.

Pour les vastes aires de très grand rayon comme pour les régions à plis de fond bien réglés, ou les chaînes neuves, et en somme pour toute espèce

de pays un peu largement construit, nous avons trois ordres de faits dont la synthèse est un des grands problèmes de l'avenir : la tectonique visible, les anomalies de la pesanteur, les jeux isostatiques. Bien des données font encore défaut, dans les deux derniers ordres surtout. D'utiles tentatives ont été faites, cependant, jusqu'à ces tout derniers temps, pour débrouiller les interactions compliquées que recèle ce problème, tant dans ses lignes générales que dans ses aspects régionaux.

L'intérêt qu'on trouve à comparer les anomalies de la pesanteur aux données géologiques visibles dépend dans une grande mesure du genre de réduction imposé aux données gravimétriques brutes. A cet égard, la différence entre la pesanteur réduite suivant BOUGUER et la pesanteur théorique normale au niveau de la mer présente, sur d'autres expressions, l'avantage d'être libérée de l'attraction des masses qui dépassent ce niveau, et d'être référentielle à l'influence des masses plus profondes. Cela ne veut pas dire qu'on ne puisse trouver profit, en plus d'un cas et moyennant certaines précautions, à la discussion géologique d'anomalies calculées par d'autres méthodes.

Les anomalies de la pesanteur, positives ou négatives, compensées ou non, sont regardées comme liées à la distribution souterraine des densités. En une hypothèse plus particulière, qui n'est pas toujours reçue, mais qui a beaucoup pour elle, on les rattache, pour une part souvent regardée comme essentielle, aux variations d'épaisseur d'un matériel léger, le *sal*, sous lequel est censé exister le *sima* plus dense. Plus d'un auteur, au reste, incline à tenir les anomalies pour représentables sans le secours de cette hypothèse, mais passons. Si on la croit valide, il n'est pas nécessaire, au surplus, de penser que *sal* et *sima* offrent partout des limites tranchées, mais ce point est en somme de détail.

Les jeux isostatiques sont rattachés tantôt à des déformations proprement tectoniques entre lesquelles le plissement joue un rôle éminent, tantôt à des phénomènes d'érosion ou de sédimentation, de glaciation ou de déglaciation, tantôt à l'effet combiné et diversement dosé de tous ces facteurs et de leurs répercussions. En interactions plus ou moins compliquées, ces divers facteurs peuvent apparaître comme cause, comme condition ou comme effet de jeux isostatiques liés à des modifications de la pesanteur, et à des sous-courants plus ou moins horizontaux dont on a imaginé bien des types. Quand ces sous-courants sont censés, ce qui est le cas ordinaire en plus d'un arrangement récent, se mouvoir d'un tréfonds surchargé et descendant à un tréfonds normal, ou d'un tréfonds de l'une ou de l'autre espèce à un tréfonds déchargé et montant, on se trouve en présence de variations de détail sur le thème proposé en 1893 par M. Bailey WILLIS, quelles que soient d'ailleurs les causes invoquées pour expliquer la surcharge ou la décharge. Dans l'hypothèse d'un *sal* et d'un *sima* superposés, tous les facteurs précédents peuvent agir, en outre,

par l'intermédiaire de déformations propres au *sal*, avec changements d'épaisseur de cette matière, et de mouvements qui se spécialisent, dans le *sal*, dans le *sima* et dans leurs variétés, à raison des propriétés différentes de ces milieux. On sent bien que cette esquisse, volontairement bornée à quelques aspects un peu généraux et singulièrement allégée, faute de temps, des fines nuances propres aux jeux reconnus, est encore très loin d'enfermer toute la complexité des événements concrets.

Les adaptations nouvelles satisfont plus ou moins bien, plus ou moins tard aux exigences de l'isostasie, et bien souvent un jeu isostatique nouveau empêche un jeu ancien de se développer à fond, ou vient en masquer, en détruire même les effets, pour y substituer les siens.

On doit évidemment regarder comme très dérivés, et taxer de *secondaires*, d'accessoires, les jeux gravifiques et isostatiques conditionnés par des agents externes ; ceux, par exemple, que provoque la surcharge de dépôts ou de grands glaciers, et ceux qu'incite la décharge due à l'érosion ou à la fonte des glaces. Car on ne conçoit, sans que quelque chose se déforme ou se soit déformé, ni érosion ni accumulation, et l'on conçoit imparfaitement, sans des mouvements qui appartiennent à une déformation, les plus grandes vicissitudes d'un régime glaciaire fort étendu. Ces jeux accessoires supposent donc des perturbations apportées à des conditions antérieures, stables ou instables : il est clair qu'ils font partie d'un plus grand jeu à base de déformation, de changements gravifiques et d'isostasie, déterminé par des actions internes ; qu'ils s'y inscrivent à titre de conséquences subordonnées, elles-mêmes génératrices de nouveaux effets de détail, et qu'ils ne dominent pas ce plus grand jeu, autrement important, auquel nous sommes nécessairement ramenés.

En cette enquête difficile, on ne gagnera rien à n'admettre, pour tout le passé, que le fonctionnement répété et varié de tels mécanismes secondaires : les effets dérivés ne sauraient jamais rendre compte du principal.

L'hypothèse qui ferait remonter à la première assiette du *sal*, constituée aux temps anté-géologiques, les principales variations d'épaisseur de cette matière, ne satisfait pas davantage l'esprit. Il est naturel de penser qu'après tant de remaniements, rien ne subsiste de la forme primitive de cette assiette.

Faut-il donc se borner à la diagnose des jeux secondaires, à commander en partie externe, ou à l'élucidation des jeux isostatiques et gravifiques plus originaires que comportent les chaînes neuves avec leurs dépressions bordières ? Faut-il faire tenir dans ce groupe de facteurs, d'ailleurs gros d'une complexité très riche, toutes les causes des redistributions de matière qui aboutissent aux principales anomalies de la pesanteur, aux principales variations d'épaisseur du *sal* ? Non, car nous avons beaucoup plus que tout cela ; nous avons le plissement de fond et pouvons penser, en outre, à son aspect complémentaire, à cette traction distensive du

sal qui est, à bien voir, l'aspect négatif et l'accompagnement obligé du plissement de fond.

On sait depuis longtemps que dans les plis de géosynclinaux et bien souvent dans ceux de couverture, les parties amincies alternent avec celles qui montrent un excédent de nourriture. En nous bornant à peu d'exemples, rappelons en passant que les flancs renversés des plis couchés montrent habituellement le premier jeu et leurs charnières frontales le second. L'alternance des parties amincies et des parties nourries est de règle dans les assises les plus déformables des plis de couverture, quoique en un style différent de celui des plis couchés. Or, le plissement de fond, positif ou négatif, peut être regardé comme un plissement de couverture réalisé à une échelle immense. C'est le jeu d'une couverture principalement faite de sal, qui se complique sur elle-même et sur le sima, en exploitant les variations de plasticité qu'elle présente dans le sens vertical, dans le sens horizontal et dans tous les sens ; en s'étirant par places et pendant un temps ; en renouvelant ces jeux et en les faisant alterner d'une manière variée ; en cédant peu à peu, par suite, de sa grande épaisseur, aux sollicitations de la gravité et de l'isostasie, à un degré dont il ne saurait jamais être question, même de loin, dans le plissement de couverture proprement dit.

Si cette vision est juste ; si le plissement de fond doit être conçu avec ce degré de généralité ; s'il est soutenu par tous ces facteurs, voilà bien des raisons de plus d'admettre qu'il n'est pas seulement le fait des zones à plis de fond réglés, mais encore celui des amples structures de très grand rayon ; larges dômes, vastes boucliers et vieilles plateformes. Tous ces objets, le plissement de fond les forme et les déforme ; il est le principal aspect d'un grand jeu capital qui surpasse et commande le plissement de fond lui-même, et à plus forte raison celui des chaînes neuves et des plis de couverture. De ce plus grand jeu dépendent en définitive, par l'entremise des plissements de tout genre, ou par d'autres détours, ou par des voies moins indirectes suivant les cas, et avec ou sans concours d'actions externes, les jeux secondaires qui sont, comme lui, à base de déformation, de changements gravifiques et d'isostasie. Les jeux incités par érosion, sédimentation, glaciation, déglaciation, et avec eux plus d'un jeu à commande purement interne, sont donc des conséquences de détail greffées sur le jeu principal qu'ils modifient par places et pour un temps.

Des conformations primitives de la base du sal, nous pouvons seulement dire, aujourd'hui, qu'elles ont existé. Mais il y a des conformations qu'on peut dire essentielles ou originaires, malgré leur variabilité incessante, et rattacher à la déformation générale dont le plissement de fond est la plus grande manifestation visible. Le lacis des conjectures par lesquelles on cherche, de nos jours, à constituer une tectonique des profondeurs, une infratectonique qui rendrait compte des trois ordres de faits,

est déjà fort compliqué, et on ne saurait se dispenser, après ce que nous venons de montrer, d'y introduire de nouvelles hypothèses de travail relatives, d'une part, à l'influence que le plissement de fond exerce sur les conformations profondes, sur les anomalies de la gravité, sur l'isostasie et sur les jeux qui expriment les multiples liaisons de ces facteurs, d'autre part aux influences en retour que le plissement de fond subit du fait de tout cela.

Il est permis de se représenter, sous les grands anticlinaux de fond comme sous les chaînes neuves, la formation de *loupes* de sal profond, sortes de négatifs plus ou moins imparfaits des principales intumescences visibles, par quoi l'isostasie est plus ou moins satisfaite et à l'égard desquels ces intumescences marquent, comme pour les chaînes neuves encore, une surcompensation au cas de croissance rapide des bourrelets plissés, une sous-compensation en des cas contraires, ou une compensation approchée. Des complexes tectoniques dont certains éléments sont surcompensés, d'autres éléments étant sous-compensés, pourront cependant montrer, quant à l'ensemble du territoire, une compensation solidaire, grâce à l'intervention d'effets élastiques ou semi-rigides. Toutes choses égales d'ailleurs, ce régime solidaire aura plus de chances de s'établir dans un complexe à plis de fond que dans un complexe à chaînes neuves, à cause du plus grand figé des hauts du sal dans le premier cas. Les excès et les défauts de masse totaux impliqueront, avec des degrés, un travail fourni à l'encontre de la pesanteur ou de la poussée de flottaison, et des conditions plus ou moins instables, sauf compensation solidaire. Un cas particulier d'instabilité sera réalisé, sous la même réserve, quand le plissement anticlinal de fond travaille une région à anomalie positive ; par exemple, un sal dont l'amincissement n'est pas compensé. Des migrations plus ou moins horizontales de matériel profond, sima ou sal, se produiront en des sens réglés par la charge excessive, normale ou déficiente qui incombe aux tréfonds intéressés ; ainsi s'esquissera un commencement de redistribution secondaire des matériaux et des densités, avec de nouveaux effets gravifiques, isostatiques et proprement tectoniques. De caractère franchement secondaire, mais rattachables en dernière analyse au grand jeu d'ensemble ou à ses aspects régionaux, seront les jeux déclenchés par l'entremise de décharges ou de surcharges externes, avec les changements qu'ils apporteront aux sous-courants et aux migrations, avec les importations et les exportations de sal ou de sima qui en seront inséparables, avec les nouvelles montées ou descentes isostatiques qui en résulteront, avec les redistributions d'anomalies gravifiques qui en seront la conséquence, avec tous les jeux ultérieurs, de même nature mais encore plus indirectement dérivés, qui s'ensuivront.

On ne saurait donc s'attendre, dans de telles conditions, à ce que les effets originaires du plissement de fond, ou du plissement des chaînes

neuves, soient partout conservés sans altération. Il faut bien souvent compter avec de très importants remaniements secondaires. Les conformations infratectoniques ne seront donc pas nécessairement le négatif des intumescences visibles. L'interprétation des cartes d'isanomales par la tectonique visible exigera de multiples précautions et une grande sûreté de coup d'œil dans la distinction de l'essentiel et de l'accessoire ; à plus forte raison l'interprétation inverse sera-t-elle délicate et grevée de risques. La distribution actuelle des anomalies dépend de l'infratectonique et par là de la tectonique totale, laquelle implique plus d'une survivance rattachable, à travers mille interactions, à des états antérieurs du dispositif. Toutes choses égales d'ailleurs, on doit s'attendre à ce que la part des conformations originaires profondes soit d'autant moins discernable que le plissement de fond a affecté un tonnage plus petit et que les remaniements secondaires ont été plus importants. Les variations inverses des mêmes facteurs, plissement de fond de grand tonnage et jeux secondaires absolument ou relativement faibles, sont favorables à la conservation plus ou moins bonne des dispositifs essentiels profonds ; elles se traduiront par une meilleure convenance de la tectonique visible et de ce que les cartes d'isanomales nous apprennent de l'infratectonique.

Ces critères étant dégagés, on voit que de grandes parties de la vieille Europe, avec leur faible plissement de fond et leurs importants jeux secondaires, ont des chances de se rapprocher du premier cas, et les vastes régions à puissants plis de fond, comme les chaînes occidentales des deux Amériques ou le segment de l'Asie centrale, du second. En l'état actuel des mensurations, le contrôle n'est possible que dans certaines régions, mais il est très instructif.

Des nombreuses cartes d'isanomales des Etats-Unis, établies suivant diverses méthodes et récemment publiées par M. BOWIE, nous retiendrons la seule qui puisse montrer, à l'égard de la tectonique visible, des relations saisissables : c'est celle qui implique la réduction de BOUGUER ⁽¹⁾. Le gros de l'anomalie négative est sous le gros des chaînes occidentales, c'est-à-dire des plis de fond ando-alpins et surtout laramiens. Une vaste loupe de sal profond qui d'ailleurs montre, à l'égard de la grande intumescence visible, plus d'un indice de disconvenance acquise, est donc admissible. Nous nous occuperons plus tard de cette disconvenance, qui est due à une intervention capitale, donc rien moins que secondaire. La convenance originare et approchée n'en demeure pas moins aisément discernable, et tout le paquet des chaînes et de la loupe, en un sens, est un pli de fond d'ordre supérieur, travaillé et retravaillé en plusieurs phases. Le plateau du Colorado, malgré sa nature de vieux bouclier

⁽¹⁾ William BOWIE. *Investigations of Gravity and Isostasy*. (U. S. Coast and Geodetic Survey, Special Publication n° 40, Washington, 1917, map 13).

et ses grands rayons de courbure, ne fait pas exception, et les déformations alpines qui l'ont fait surgir en masse, pendant le Néogène ou à la fin de cette période, sont essentiellement du plissement de fond, puissamment joué sous un effort horizontal et souligné de cassures en long, particulièrement marquées dans la région la plus exposée aux poussées, le promontoire ouest. Il y a d'ailleurs plusieurs générations de cassures.

Pour préciser dans toute l'intumescence des chaînes, à l'échelle immédiatement inférieure qui est celle des plis de fond particuliers, les degrés de convenance et de disconvenance entre chacun de ces objets et les données de l'infratectonique, il faut attendre que la densité du réseau des stations ait augmenté et permette de tracer des cartes d'isanomales plus détaillées. Les isanomales dont on dispose ne rendent que la conformation la plus générale de la loupe et ne sauraient rendre beaucoup plus, vu le petit nombre et le très grand espacement des stations.

L'ensemble à vieux plis calédoniens et hercyniens que forment aujourd'hui la Chaîne Taconique, le Piedmont et les Appalaches a été le siège d'un large plissement de fond alpin, auquel sont dûs des effets infratectoniques, manifestés par une loupe négative ; des effets tectoniques visibles, en volume, dans l'intumescence générale du relief, et en surface, dans les gauchissements répétés des pénéplaines classiques de cette région ; des effets morphologiques, par rajeunissements de la topographie ; des effets stratigraphiques, complémentaires de l'érosion, par sédimentation de site périphérique ; des effets plus menus, appartenant à l'un ou à l'autre de ces mêmes genres, et dont on commence à débrouiller les interactions compliquées. De ces effets menus, on peut dire qu'ils dépendent, à titre de jeux accessoires, des grands jeux qu'on vient de rappeler, et en définitive, pour l'essentiel, du plissement de fond. Qu'il y ait eu, dans ce plissement de fond, une phase andine probablement synergique des grands mouvements andins des chaînes, alors neuves, de l'ouest des Etats-Unis, c'est ce que montre la discordance des couches éocéniques du Potomac sur le Trias déformé, observée en quelques points du revers atlantique des plis de fond. Les autres lacunes présentées par les dépôts crétacés et tertiaires de la plaine côtière pourront être, dans beaucoup de cas, convenablement rattachées aux reprises ou aux progrès du plissement de fond, ou à des répercussions plus complexes du même.

Le gros de la loupe négative, qui est assez considérable encore que très inférieure à celle des chaînes du grand ouest, convient approximativement, par le site, au gros du relief visible, c'est-à-dire aux Appalaches ; ce qu'il y a de disconvenance, à la plus grande échelle, est de même sens, de même espèce et sans doute de même origine que pour les chaînes laramiennes et andines. La continuation occidentale de la loupe répond au prolongement des Appalaches dans l'Arkansas et l'Oklahoma ; elle est indiquée par quelques stations à valeurs négatives relativement élevées.

Les deux régions principales du plissement de fond réglé, celle des grandes chaînes occidentales et celle de l'est des Etats-Unis, vérifient donc convenablement, malgré des altérations qui ne sont pas toutes de détail, la réalité des jeux essentiels et originaires que nous rattachons au plissement de fond.

Les cartes d'isanomales des Etats-Unis basées sur des réductions autres que celles de BOUGUER montrent fort peu de relations claires avec la tectonique visible.

Les énormes intumescences, à direction plus ou moins proche du méridien, de l'Afrique orientale et des deux rives de la Mer Rouge, peuvent être regardées, pour l'essentiel, comme un système de plis de fond, de jeu anticlinal dominant, rattachable à une compression dans le sens des parallèles. Les grandes cassures subméridiennes, si imposantes soient-elles, tombent au rang de simples détails dans une déformation de ce tonnage, et beaucoup d'entre elles peuvent être taxées de cassures en long dépendant du plissement de fond. Ce n'est pas à dire qu'il n'y ait que cela, et qu'il faille négliger l'hypothèse de tractions horizontales intervenues dans le sens des parallèles. En admettant la succession ou l'alternance des jeux pliants et des jeux tirants, on concevra aisément que les derniers aient fait naître d'autres cassures méridiennes, d'origine distensive, et que les cassures de l'une ou de l'autre provenance, en quelque sorte exploitées par la traction continuée, aient été souvent élargies en ces grands fossés qui sont un des traits les mieux marqués de cette partie de la Terre.

Plus souple et plus riche que les théories exclusives, cette complexe hypothèse de travail a des chances de mieux répondre aux exigences de la tectonique visible. En infratectonique, elle permet d'écarter plus d'une difficulté. S'il y a plissement de fond, on peut s'attendre, sauf remaniements importants, à de notables anomalies négatives sous les grandes intumescences : c'est bien ce qu'ont révélé les mensurations de la gravité dans l'intérieur de larges parties de l'Est-Africain. Qu'avec cela les fossés soient tantôt près d'être compensés, tantôt non, c'est un problème de l'échelle immédiatement inférieure où interviennent des jeux dont une partie au moins est secondaire, et des facteurs dont il n'y a nulle raison, pour l'heure, de retrancher les déformations d'origine distensive et leurs conséquences.

L'Europe extra-alpine, par la complication en petit de sa tectonique, par la débilite du plissement de fond visible, par la faiblesse présumable des accompagnements subcrustaux originaires de ce plissement, par l'importance des remaniements secondaires d'espèces diverses, et de perturbations plus générales, est probablement, de toute la Terre, une des régions les plus propres à voiler l'essentiel sous la profusion des détails. On n'entend pas soutenir que ce soit le fait de toutes les parties de la vieille Europe. Mais ces circonstances, maintes fois variées sans que se perde le caractère

assez répandu qu'on vient de dire, empêcheront en plus d'une région de se prononcer, sans quelque arbitraire, sur la forme originaires d'objets infratectoniques aujourd'hui désaxés, altérés, remaniés ou entièrement liquidés. Il ne sera donc pas toujours aisé, comme on le peut en des pays plus largement construits, de remonter à l'essentiel. Ce que montrent, en des régions de ce type, les cartes d'isanomales, n'est bien souvent que cette liquidation plus ou moins avancée, voire achevée ou dépassée, sous des influences en partie secondaires qui en sont venues, avec le temps, à dominer ou à l'emporter tout-à-fait. C'est pourquoi nous ne saurions, en de si brèves minutes, entrer beaucoup plus avant dans cette affaire qui ne présente d'intérêt, aux échelles inférieures, qu'à la condition d'être discutée dans ses détails.

Nous rappellerons cependant l'hypothèse, proposée il y a peu, d'une aspiration de matériel profond, par sous-courants horizontaux, vers le tréfonds déchargé et montant du centre fennoscandien récemment déglacé. Cette aspiration a sans doute remplacé des refoulements inverses déclenchés par la dernière glaciation, et les deux genres de perturbation ont dû alterner, en un Quaternaire plus ancien, à raison des glaciations et des déglaciations périodiques. Cela permet de pressentir l'importance d'une partie des remaniements secondaires qui ont atteint les conformations profondes afférentes à de larges zones de plis de fond, de site périphérique à l'égard du bouclier baltique. Nous pouvons aussi rappeler ces petits sillons intra-continentaux, parfois taxés de géosynclinaux, en lesquels se marquent divers jeux isostatiques et gravifiques influencés par la sédimentation et qui présentent, à l'égard des géosynclinaux proprement dits, plus d'une différence de comportement. Ces divers jeux sont loin, du reste, d'épuiser l'inventaire des perturbations secondaires actuellement reconnues.

Nous ne discuterons pas ici l'influence que la compensation solidaire, pour laquelle plus d'une partie de la vieille Europe montre de la propension, peut exercer sur la diagnose des différences entre les conformations secondaires et ce qui subsiste de conformations essentielles moins altérées.

L'Asie centrale, avec ses grands plis de fond, a des chances de voir dominer des jeux plus originaires, et de fait, les mesures de la gravité relatives à diverses parties du Tien-Chan occidental, des plaines voisines et du Pamir donnent de fortes anomalies négatives, impliquant vraisemblablement de puissantes loupes de sal qui débordent du tréfonds des montagnes dans celui des plaines. Le gros du segment de l'Asie centrale reste provisoirement inconnu à cet égard, mais son exploration gravimétrique ne peut manquer de révéler des faits importants.

Il est superflu de rappeler les données relatives à l'Himalaya et à l'avant-fosse indo-gangétique, ces régions classiques de par l'histoire de la gravimétrie. Mais il convient de marquer le fait que l'intumescence monta-

gneuse, dans les limites du territoire ainsi échantillonné, est essentiellement due à un plissement de fond, celui de l'*Himalayan zone*, et comporte relativement peu de tonnage neuf. Il s'avère par là que les jeux isostatiques et gravifiques essentiels, en cette région, sont ceux qui conviennent au plissement de fond, et que ces derniers ne sauraient beaucoup différer, en général, de ceux qu'incite la production des chaînes neuves. Les quelques autres régions à grands plis de fond que nous venons d'examiner donnent le même résultat, et si certains endroits de l'Europe extra-alpine peuvent suggérer le contraire, c'est peut-être à la condition de ne voir que cela et de prendre l'accessoire pour l'essentiel, le particulier pour le général.

Les migrations horizontales du matériel profond se traduisent par des effets verticaux qui consistent, sauf inversion du jeu par d'autres facteurs plus puissants, en une descente au cas d'exportation de matière et en une montée au cas d'importation. On conçoit que ces effets puissent se répercuter en altérations plus ou moins importantes de la forme des objets plissés, jusque dans les parties visibles, et en cassures nouvelles qui naissent dans les hauts. Il est permis de penser que plus d'un volume régional de plis de fond ou de chaînes neuves a éprouvé des déformations secondaires de cette nature, et par suite, des oblitérations plus ou moins marquées des dispositifs originaires. En particulier, les conformations dues aux jeux d'axe originaires peuvent s'en trouver altérées. On doit certes compter avec ce genre de perturbations secondaires, et chaque cas spécial doit être examiné pour lui-même, mais on ne saurait expliquer, par ce genre d'accidents, le gros des conformations d'ensemble, surtout aux échelles supérieures : ce serait porter l'obscurité où règne la clarté, et proprement instituer le chaos. La raison en est évidente. Dans l'immense majorité des cas, comme vient de le montrer notre enquête étendue aux zones plissées les plus importantes de l'Eurasie et des autres continents, les grands jeux d'axe visibles satisfont aux conditions imposées par l'interaction du plissement, neuf ou de fond, et d'obstacles au droit desquels se produit un effet vertical déterminé. Ce fait est capital : il montre que les jeux d'axe ne sont pas distribués au hasard, mais obéissent à des règles qui tiennent aux conditions immédiates, au jeu le plus intrinsèque du plissement, neuf ou de fond ; d'où il suit que dans l'ensemble, les effets secondaires de tout genre sont très loin de l'emporter. Il résume d'une manière saisissante, en une règle de fréquence statistique, de dominance, le résultat de la lutte poursuivie, au long des âges et sans doute dans le présent, entre les plus grands jeux pliants du sal et les déformations secondaires. Il serait donc difficile de donner, de cette prépondérance des effets essentiels, une expression plus condensée, plus synthétique, plus implicitement riche de tout l'héritage des jeux passés. En évoquant la durée, on voit que cette dominance est due, pour une part, au fait que les jeux secondaires sont

rarement parvenus à s'imposer, si ce n'est pour un temps et en des régions particulières ; d'autre part à l'insistance, à la rapidité, au succès avec lesquels le plissement, continué ou repris, parvient ordinairement à réparer ces détériorations provisoires, à ériger de nouvelles conformations essentielles, à liquider les oblitérations secondaires, à dominer ces jeux accessoires et à faire prévaloir ses lois propres.

C'est cette règle de fréquence, cette dominance des effets essentiels, renouvelés ou non, qui fait qu'on trouve, à considérer les anomalies de la gravité à la lumière de la tectonique visible, plus qu'un intérêt de détail. Les dangers que recèle souvent le procès inverse, par lequel on cherche à interpréter la tectonique visible au moyen des anomalies et d'une infratectonique conjecturale, à expliquer le mieux connu par le moins connu, à contester même, parfois, les conséquences les plus immédiates de faits géologiques visibles, tiennent pour une part à la multiplicité des combinaisons explicatives possibles, et pour une autre à l'oubli des données de la tectonique concrète.

La règle de dominance des jeux essentiels est vraie de tous les grands tènements continentaux : elle y souffre quelque exception en des régions particulières où le plissement n'a pas encore retrouvé l'énergie nécessaire à une reprise efficace ; où des effets secondaires peuvent dominer jusqu'à cette reprise ; où ils peuvent se marquer, en attendant, dans l'infratectonique et jusque dans la tectonique visible.

Des exceptions plus radicales peuvent exister, par exemple au cas où des disjonctions, commencées ou consommées, rendent précaire ou impossible la reprise du plissement. Nous remettons à peu d'instants la discussion de cette affaire qu'il convenait cependant d'indiquer, ici, d'un trait léger.

La même règle statistique met l'accent sur les jeux d'axe, c'est-à-dire sur tout ce qu'il y a de plus important dans les aspects verticaux de la déformation générale, et c'est par là même qu'elle établit, en invoquant une relation fort simple avec les obstacles situés au droit, la subordination causale de ce gros des aspects verticaux à un écoulement plastique essentiellement horizontal. Nous avons vérifié cette dépendance sur cent exemples concrets qu'il est superflu de rappeler.

L'examen dont nous sortons permet d'ordonner, en vue d'une synthèse plus embrassante, un grand nombre de matériaux.

En premier lieu, la déformation tectonique générale, qui commande tout le reste, se traduit visiblement, au principal, par un grand jeu où dominent les aspects horizontaux. C'est le plissement de fond avec son aspect positif, par compression, et son aspect négatif, par traction. Elle se traduit en outre par le plissement des chaînes neuves dont le caractère, cependant, est déjà quelque peu secondaire, puisque la déformation porte sur un tonnage relativement faible remanié en sédiments plastiques, et non sur

le gros du sal originaire. Ces divers jeux pliants ou tirants comportent des effets verticaux très variés à raison des temps et des lieux, et qui ne permettent, par suite, aucune diagnose certaine de déplacements tout ensemble purs et originaires, de mouvements en bloc, verticaux ou non. La dominance des aspects horizontaux ne s'en affirme que mieux.

Il est clair, en conséquence, que la notion du plissement de fond renouvelle, de la base au sommet, de grandes parties de l'édifice conçu par l'ancienne tectonique. Des continents qui plient ou se déforment dans toute leur masse ; des chaînes géosynclinales qui tombent au rang de détails ; des mouvements verticaux purs et originaires dont on peut faire l'économie. Ces mouvements ne pouvant plus, autrement que par des artifices d'analyse, être distingués, exactement séparés, ou dosés à part des effets verticaux essentiels ou accessoires, directs ou détournés, tectoniques ou infratectoniques, des jeux tangentiels, il devient impossible d'affirmer quoi que ce soit à leur sujet. A l'égard des effets verticaux essentiels, c'est immédiatement évident ; à l'égard des effets verticaux des jeux accessoires, l'évidence paraît au bout d'une discussion plus délicate. La notion de mouvements tectoniques verticaux qui seraient tout ensemble purs et originaires implique donc un postulat indémontrable en théorie et comme superflu en pratique.

Au fond de tout cela, il y a l'impuissance des schèmes linéaires à rendre compte de quelque déformation que ce soit. L'esprit s'empare de ces schèmes ; il les trouve simples et maniables ; il les tient, non sans raison, pour mieux adaptés à la contexture du langage que l'inépuisable richesse de la mouvance concrète dans l'espace concret. Ces schèmes économiques deviennent, à la longue, une sorte de monnaie courante dont le titre n'est plus discuté. Mais les hommes sensibles aux exigences du concret, les hommes doués de fortes tendances visuelles ne s'en contentent pas. De là plus d'un renouvellement du bâti de notre science, et ces refontes dont l'une des plus réussies, dans le passé, a été la substitution des idées de plissement et de refoulement horizontal à celle des axes de soulèvement. Les notions de mouvement épirogénique et de dislocation radiale se trouvent aujourd'hui, en présence du caractère essentiellement horizontal inhérent à la déformation tectonique générale, dans la même situation critique, et privées de tout fondement certain. Nous ne connaissons pas de mouvements tectoniques verticaux ; nous ne connaissons que des effets verticaux rattachables à une déformation en volume.

Nous n'entendons pas, il va de soi, méconnaître l'influence de la pesanteur et des forces verticalement dirigées qu'elle met en jeu. Toute cette discussion en témoigne. Mais autre chose est cette abstraction, cet être de raison qu'on appelle une composante, et autre chose l'effet sensible et concret, que nous avons voulu mettre en vedette.

Il convient d'ajouter que nous n'entendons pas, par ces considérations

sur les mouvements tectoniques verticaux purs et originaires, affirmer quoi que ce soit de jeux d'un autre ordre : ainsi des déformations générales du géoïde. Nous ne songeons pas davantage à les étendre aux jeux verticaux que la géophysique et la géologie admettent souvent, à titre hypothétique, dans des fluides plus ou moins visqueux, de site profond : sous-courants verticaux, chutes ou montées de corps immergés, distribution verticale des matériaux par densités, et ainsi de suite. Nous pensons bien faire en n'appliquant ces considérations, pour l'heure, qu'à la déformation des milieux plastiques que la tectonique fait intervenir ordinairement.

En deuxième lieu, la prédominance des aspects horizontaux, dans les plus grands jeux que nous ayons reconnus, montre qu'il doit en être de même dans la déformation tectonique encore plus générale dont tout cela dépend. La synthèse du donné n'est donc concevable, à l'échelle immédiatement supérieure à celle du plissement de fond, que par une hypothèse à base de jeux essentiellement horizontaux, lesquels doivent en outre, pour expliquer la distribution si générale du plissement de fond, embrasser la masse entière des continents et de leurs annexes.

Nous n'avons pas eu besoin, pour en arriver là, d'en appeler aux idées qu'on s'est faites de la fixité des continents ou de leur aptitude à subir des translations horizontales considérables. Les remarques qui précèdent sont donc indépendantes de ces points de vue théoriques, et aucune d'elles n'implique, en rigueur, la nécessité d'un choix entre ces diverses manières de voir. Mais on les voit clairement aboutir, en ce point précis, à une vue qui se concilie bien avec la seconde hypothèse. Nous ne pourrions manquer de donner quelques instants à une affaire aussi grosse de conséquences.

XXVI

La nécessité de couler, dans l'ordre linéaire du discours, les aspects inépuisables d'une nature qui joue dans les trois dimensions de l'espace et dans le temps, ne nous laissait de choix qu'entre une distribution chronologique du récit ou un sectionnement par régions. Nous avons autant que possible subordonné le second arrangement au premier. Nous nous sommes ainsi tenu au plus près de ce que la nature peut offrir d'apparences visuelles continues, d'aspects solidaires et coulés comme d'un jet ; au plus près, également, d'une vue des choses dont nous pouvons dire, sans plus, qu'elle est fructueuse et commode. Cette vue consiste à accepter le discontinu partout où il se présente, et à le réintégrer dans le continu aux échelles supérieures.

Les jeux discontinus sont évidents partout où la trace en a été constatée. La position du continu, acte de synthèse qui surmonte l'analyse pour la recréer harmonieuse et plus riche, est l'unité de complexité : nous n'avons pas à discuter ses titres ou à scruter son essence. Il nous suffira de dire que rien d'un peu grand ne s'invente, en tectonique, sans une imagerie visuelle

de la déformation continue ; que cette imagerie peut conduire à de graves mécomptes ou aux pires égarements, quand elle n'est pas lestée d'une critique inflexiblement rationnelle et pourtant dosée avec finesse ; que trop de critique tue l'invention juste, et trop peu laisse courir le faux ; qu'elle a rempli son rôle, cette imagerie, quand elle a été féconde en trouvailles vérifiées ; que ces trouvailles sont en définitive la seule chose saisissable et qu'il est superflu, à ne parler que science, de demander ce qu'est en son fond la vue d'un continu. La cataclase et la recristallisation font voir à quel point l'apparence de déformation continue, ce précieux instrument de synthèse à l'échelle supérieure, peut s'exprimer par une totalisation de petits mouvements parcellaires et particuliers discontinus, en nombre immense.

En subordonnant l'ordre régional à celui des temps, nous n'avons pu éviter de fréquents coups d'œil rétrospectifs, et nous avons accepté l'obligation de déplacements incessants. De plus en plus amples, ces excursions à l'orient ou à l'occident ont eu le segment de l'Asie centrale comme pivot. La précédente randonnée n'a pris fin qu'aux rivages du Couchant ; la suivante nous ramène à l'Extrême-Asie.

L'Asie orientale est l'ensemble des objets tectoniques dans lesquels le grand jeu des chaînes circumpaciennes, généralement parallèles aux rivages, se complique des contrecoups latéraux, des jeux de flanc que le puissant serrage frontal de l'Inde et de la Terre de l'Angara, massé dans le segment de l'Asie centrale, déclenchait plus à l'est.

Le concours de ces deux grands facteurs domine tout le jeu de l'Asie orientale à compter d'un certain moment du cycle alpin. Plus anciennement le jeu circumpaciennique, compliqué par places de tout ce qu'entraînait la présence de noyaux anciens, était la seule affaire importante. Mais les directions presque normales à la côte qui se rencontrent par larges aires, notamment dans l'intérieur des pays amouriens et dans une partie du Sikhota-Alin, laissent pressentir la complexité des conditions plus particulières qui ont pu prévaloir en certaines régions.

L'Asie orientale actuelle est faite d'un tènement continental gauchi, bousculé et cassé par plis de fond alpins, avec de nombreux plissements de couverture plus ou moins encadrés ; d'une dizaine de mers bordières ; d'un cortège de guirlandes qui, par places, tiennent au continent et montrent à l'intérieur de leur bâti de chaînes neuves, partout où l'exaltation axiale est suffisante, d'importants plis de fond à matériel mort anté-alpin. Ces deux dernières circonstances montrent que le fond des guirlandes fait partie du tènement continental, dont il n'a été détaché, sauf exception pour de petits fragments, que d'une manière incomplète.

Le pan continental de l'Asie orientale va de l'Insulinde occidentale au détroit de Bering ; il comprend l'Indochine, la Chine propre, la Corée, la Mandchourie, les pays amouriens, les entours septentrionaux des mers

d'Okhotsk et de Bering, les socles et les talus continentaux immergés qui unissent ou bordent tous ces pays. Il ne fait qu'un avec l'Amérique du Nord ; à proprement parler, la guirlande des Aléoutiennes et la puissante virgation de plis de fond des Alaskides, à l'ouest du 140^e méridien, sont aussi asiatiques par leur plan qu'elles sont américaines par leur matériel. Au nombre des mers bordières comptent non seulement les cinq exemplaires qui se rangent de la mer de Bering à la mer de Chine, mais encore les mers de Soulou, de Celebes, de Banda, et les espaces de mer assez profonds qui vont de l'arc des Andaman-Nicobar au talus de la péninsule de Malacca. Les guirlandes s'échelonnent de l'Assam aux Aléoutiennes ; le cachet circumpaciennique des jeux, face aux grands fonds de l'Océan Indien, n'est pas moins clair dans l'arc birman et malais, qu'il ne l'est face au Pacifique, des Philippines aux Aléoutiennes. Le fait que cet arc a été rencontré, aux deux bouts, par le vieux promontoire de l'Assam et par l'Australie, ne se vérifie pas sur de grandes longueurs. Le complexe d'arcs qui embrasse les Shichitô, les Ogasawara avec leur Nummulitique plissé et leur Néogène discordant, les Mariannes, les Carolines de l'ouest avec les schistes cristallins de Yap, les Palaos et quelques moindres objets dans le sud-ouest, termine l'édifice asiatique actuel du côté du Pacifique. Mariannes, Carolines de l'ouest et Palaos se disposent comme en échelons relayés. Le vaste et profond espace qui s'étend à l'ouest du complexe d'arcs, jusqu'au pied immergé des cordillères du Japon sud-occidental, des Ryûkyû, de Formose et des Philippines est en un sens la dixième mer bordière d'Asie.

L'Asie orientale est ainsi définie.

Les Carolines moyennes, avec les schistes cristallins de Uola, et les Carolines orientales appartiennent au cortège léger des Océanides.

De part et d'autre du segment de l'Asie centrale, les jeux du continent de l'Angara et de ses lisières marquent des analogies qui tiennent à un certain nombre de conditions communes, des ressemblances qui attirent la suspicion et des dissemblances qui posent les plus hauts problèmes.

Le gros des analogies tient en ceci, que la Terre de l'Angara et ses lisières de jeunes chaînes se sont déformées, de part et d'autre du segment le plus comprimé, en deux protubérances convexes au sud, qui ont cherché à envelopper l'Inde aux deux ailes.

Le premier de ces dispositifs, qui répond à la moitié sud du segment touranien, comprend les plis de fond du Touran et les chaînes neuves de l'Iran, à plis de fond englobés.

Le deuxième dispositif embrasse les arcs neufs qui se rangent de l'Assam à Formose, par l'Insulinde et les Philippines, et les vieilles terres comprises dans cette circonvallation. Exception faite de l'arc birman, et sans parler de ce très vieux massif problématique qu'on a supposé exister dans le sud-est, l'Indochine est un paquet de plis de fond dans lesquels se marque une tendance à la divergence vers le sud et le sud-est ; des plissements de couver-

ture jouent par places. Les nappes du Sud-Yunnanais, du Tonkin et du Nord-Annam sont des plis de fond qui, en cassant par de grandes fractures, peu inclinées et répétées, ont dépassé et peut-être perdu tout réglage dans les traitements mécaniques que comporte l'évolution des plis de fond poussée à ce degré. Elles paraissent former l'aile droite d'un arc dont l'aile gauche, encore à trouver, s'étendrait ou se serait étendue sur Haïnan et sur une marge de Chine méridionale. Ce qu'on connaît de leur plan rentre bien, en tout cas, dans la famille de courbes dessinée par les autres grandes directrices de l'Indochine et par les jeunes arcs de la circonvallation extérieure. Cette circonstance tient à une certaine solidarité de jeu, laquelle n'a pas partout embrassé le cycle alpin en son entier, des démembrements ayant affecté plusieurs segments de la périphérie. Les plis de fond du gros de l'Indochine se sont donc comportés dans une certaine mesure, à l'égard des arcs neufs de leur *aval*, les arcs birman et malais, comme les plis de fond du Touran à l'égard des arcs iraniens.

La fonction diamétrale qui distingue le 63^e méridien a été remplie, de l'extrême sud de la Chine au sud de Java, par le 110^e environ ; les filets d'écoulement, à direction générale au sud sur ce diamètre — orientation actuelle, ont subi à l'aile droite des déviations graduelles au sud-ouest et à l'ouest ; à l'aile gauche, des déviations symétriques, au sud-est et à l'est, avec formation, dans ce qui devait être les Philippines, d'une virgation du deuxième genre qui se serre, de nos jours, vers le nord dans Luçon et s'ouvre au sud-ouest. Mais la présence de cinq mers bordières à l'intérieur de la protubérance, et de deux océans à la périphérie, est de nature à faire penser que ces inductions ne sont vraies qu'avec des réserves de temps et de lieu, pour ne rien dire de déformations postérieures suivant un autre style.

En substance, la Terre de l'Angara a prononcé deux attaques — ou deux contre-attaques — de flanc, suivant qu'on attribue le plus grand déplacement à elle-même ou à l'Inde. Pendant ce temps, le centre angarien était enfoncé, et l'Inde souffrait moins, encore que le grand pli de fond complexe de l'*Himalayan zone*, avec ses charriages cassants, soit un des résultats visibles de l'affaire.

Le grand sud chinois livre peu à peu ses secrets, mais il serait prématuré, malgré tout ce que la science doit à un LOCZY, à un RICHTHOFEN, à un LECLÈRE, à un WILLIS, et malgré deux bons essais récents de synthèse cartographique, d'en donner un aperçu un peu lié. Tout aperçu de ce genre serait rapidement dépassé. La récente création d'un Service géologique de Chine, qui a déjà valu à la science plusieurs travaux d'une distinction parfaite, présage bien de l'immense avenir promis à nos confrères chinois.

On se bornera donc à des aperçus détachés. Le Précambrien et les mouvements des trois cycles postérieurs sont sans doute représentés. La direction dominante est au nord-est.

Un premier complexe couvre le sud-est du pays ; il dépasse peu, au nord, la ligne du Yang-tse ; son gros, qui se tient à l'est du 112^e, lance cependant de forts éperons — dorsales gauchies ou voussoirs de plis de fond — au sud-ouest dans le Kouang-Si. Ce premier complexe comprend des schistes cristallins, du Paléozoïque plissé — dont le Dévonien et le Dinantien —, des Angaras permians, triasiques et jurassiques plissés, du granite et diverses roches éruptives. La part du cycle alpin est considérable, et des granites ont parfois percé le Jurassique. Celle du cycle hercynien est fort vraisemblable. Un faisceau à Paléozoïque plissé, qui suit en gros la courbe du Yang-tse des environs de Nan-king à ceux de Han-keou, marque une concavité au nord sur le 116^e près de Kiou-kiang ; la disposition de cet ensemble semble annoncer la résistance d'un promontoire — tourné au sud — de ce grand massif de gneiss, vraisemblablement fort ancien, qui s'étend aux frontières communes du Ngan-Hoeï, du Ho-Nan et du Hou-Pe.

Les couvertures anthracolithiques, triasiques et jurassiques qui s'étalent, avec des plis et avec un cachet tabulaire prédominant, sur presque tout le Kouei-Tcheou, sur de grandes parties ouest du Hou-Nan et sud-ouest du Hou-Pe cachent évidemment un massif fort rigide, qui pourrait bien être le prolongement sud-occidental du précédent et former avec lui une deuxième région. Un gros éperon de terrains anciens s'avance au sud-ouest du lac Toung-Ting et disparaît, en direction, sous les couvertures dont nous venons de parler. Le massif ancien que le Yang-tse recoupe en amont de Yi-tchang, avec son Précambrien, ses enveloppes et ses traces aux courbes emboîtées, est un beau pli de fond alpin ; son abaissement d'axe, au sud-ouest du fleuve, est assez rapide dans cette direction, mais il rebondit plus loin en une culmination axiale nouvelle, dans les parages du 30^e parallèle et du 110^e méridien.

Les plis à Paléozoïque et à Angaras du Yun-Nan septentrional et le bassin du Se-Tchouen soutiennent des rapports mal connus ; ils marquent, au-delà de la deuxième région avec ses larges tables, le retour de conformations plus plissées. Dans l'est et le sud-est du bassin setchouanais, les plis alpins se serrent à l'approche de la deuxième région et marquent des relais obliques comme au voisinage d'une résistance, ce qui semble confirmer la notion d'un massif particulièrement rigide sous les couvertures tranquilles de la deuxième région.

Une longue ceinture de plissements alpins, qui sont parfois de couverture et plus généralement de fond, avec remaniement de bâtis anté-alpins hétérogènes, entoure ainsi l'antique noyau, vraisemblablement précambrien, qui gît au cœur de la deuxième région : au sud-est, ce sont les éléments plissés du premier complexe ; au sud et au sud-ouest, l'arc charrié du Nord-Annam, du Tonkin et du Sud-Yunnanais ; à l'ouest, le faisceau du Yun-Nan septentrional ; au nord-ouest les plis du bassin du Se-Tchouen dont une

partie est peut-être de fond ; au nord, le Tsin-ling-Chan. La deuxième région elle-même montre des plis de fond et des plis de couverture.

A l'est du terminateur de l'Asie centrale, les plis de fond du Kouen-Lun, échappés de la grande serrée, s'abaissent rapidement en direction du sud, vers l'Indochine ; du sud-est ; de l'est dans le Tsin-ling-Chan. Leurs masses encore puissantes dominant et encadrent les lisières du bassin setchouanais à l'ouest, au nord-ouest et au nord.

Le Tsin-ling-Chan est un gros pli de fond alpin, reviviscence déclenchée du nord par le bord méridional du massif sinien, point très distant. Les coupes de M. OBROUTCHEV révèlent, pour le territoire encadré par les 104^e et 106^e méridiens, les 32^e et 35^e parallèles, un vieux bâti principalement hercynien, à plis souvent déversés au sud, sous lequel apparaît par places un socle antédévonien ; le tout est gauchi en un large pli de fond alpin, avec des couvertures discordantes de grès supra-houillers, de Jurassique continental et de couches du Gobi qui souvent marquent de douces ondulations synclinales subordonnées au grand anticlinal de fond. Le mieux exprimé de ces synclinaux marque, dans les couches du Gobi, un refoulement vers le nord. Plus à l'est, le Tsin-ling-Chan montre à son bord sud des plissements alpins dont l'âge, selon M. Bailey WILLIS, est postérieur à des horizons peu précisés du Mésozoïque ancien ; des granites percent ce bâti et le tout est surmonté en discordance par des Angaras plus jeunes. Il se peut que le vieux massif de la Chine du sud ait contribué, sur plus d'un diamètre, à déclencher la reviviscence du Tsin-ling-Chan.

Dans le Kan-Sou, où se terminent, du 104^e au 107^e environ, les branches déviées du Nan-Chan oriental et peut-être déjà en partie sur le massif sinien, des couches réputées pliocènes sont plissées par territoires étendus et recouvertes d'un épais manteau de loess ; le fond ne perce que de loin en loin. Ces jeux de couvertures, souvent fort intenses, sont sans doute en rapport avec les phases récentes de la poussée du Nan-Chan et peut-être du Tsin-ling-Chan.

Il est inutile de revenir sur les régions plus septentrionales du tènement continental : du Tsin-ling à la mer d'Okhotsk, nous les avons effleurées autant qu'il peut être utile en l'état des explorations.

La guirlande aléoutienne, le Kamtchatka, les guirlandes japonaises et celles qui des Philippines s'échelonnent jusqu'en Birmanie posent comme toute l'Asie orientale, mais avec une insistance particulière, l'immense problème de la nature des fonds de l'océan et des mers bordières, et de l'influence que cette nature exerce, on le sent bien, sur le jeu des structures visibles et des structures invisibles : le problème, en bref, de la fixité ou de la mobilité illimitée des continents.

XXVII

Jusqu'à ce point, un souci de tectonique concrète nous a incliné à cher-

cher, sans trop d'égards aux théories de la Terre, la solution des problèmes anciens et de ceux qui naissent à chaque pas. Nous avons trouvé, en chemin, beaucoup de choses, et dans le nombre, des résultats généraux qui ne peuvent manquer d'orienter nos démarches en la brève mais inévitable confrontation qui nous attend. La réduction des mouvements verticaux au rang de petits effets subordonnés à un écoulement plastique essentiellement horizontal ; le rattachement des jeux d'axe à des événements du même ordre ; le haut degré de liaison qui paraît en tant d'aspects continus ; la certitude du fait que des talus continentaux, couverts de dépôts frais et bien plastiques, peuvent jouer à peu près comme une moitié de géosynclinal et donner naissance à des chaînes neuves d'un tonnage élevé ; le jeu lourd et puissant des plis de fond ; l'aisance avec laquelle la déformation plastique travaille la masse entière des continents, de si haut figé ; le renversement complet des idées reçues quant à la prépondérance énergétique des chaînes géosynclinales : voilà des résultats dont la portée sera difficilement méconnue.

Le même souci du concret nous a fait conduire l'exposé, pour l'intérieur des continents, à très peu près comme si les problèmes auxquels nous pensons ne se posaient pas à l'échelle supérieure.

En approchant certaines lisières marines de l'Eurasie, nous n'avons pu maintenir en rigueur ce parti ; on l'a bien vu. En Asie orientale, c'est tout-à-fait impossible à moins de se borner, dans la règle, au catalogue analytique des faits connus.

Nous avons des théories par douzaines, avec beaucoup moins de chances de les voir s'accorder. Mais il semble bien que la lutte se concentre, de nos jours, entre les théories qui impliquent la fixité des continents et l'hypothèse des grandes translations, conçue et fortement exposée par M. WEGENER.

La confrontation complète de ces théories entre elles et avec les faits ne saurait trouver place ici. Même limitée aux exigences de la géologie ou simplement de la tectonique, elle excéderait mon dessein présent ; je m'en expliquerai peut-être ailleurs. Mais cette confrontation, je l'ai faite pour la Terre entière, dans la mesure de mes moyens. Depuis 1915 et surtout depuis 1918, j'ai longuement scruté le degré de crédibilité de la théorie des translations, en faisant intervenir tout l'atlas de formes tectoniques dont je puis disposer et tous les jeux de mouvements que je puis voir. En sorte que si le temps me manque aujourd'hui pour motiver quelques-unes de mes appréciations, on ne pourra cependant, sans excès, les juger hâtives ou dénuées de fondement.

Je ne pense qu'à abrégier en employant, pour caractériser l'essentiel des deux attitudes, les expressions de *fixisme* et de *mobilité*.

Le fixisme n'est pas une théorie, mais un élément négatif commun à plusieurs théories. A bien voir les choses, il n'est que la non-position d'un

problème qui est précisément celui du mobilisme, et il ne se définit que par rapport à lui. En rigueur, il ne saurait être démontré ou infirmé ; c'est le lot de toute idée qui compte sur l'absence de témoignages.

Le pouvoir constructeur et les dangers du fixisme ne commencent qu'avec son association à des vues positives, auxquelles il communique, du reste, le principe d'inertie qui est en lui. On l'associe habituellement, mais non nécessairement, à la théorie de la contraction et à la vue suivant laquelle les fonds océaniques sont tout ensemble de même nature et de même épaisseur que les fonds continentaux, dont ils ne différencieraient que par l'intervention de larges affaissements, de jeu radial.

Avec plus d'un contemporain, je tiens cette dernière vue pour totalement incompatible avec l'isostasie. Je pourrais donc arrêter ici cette appréciation du fixisme traditionnel et passer immédiatement à d'autres considérations. Je veux cependant essayer de marquer le terme auquel il paraît tendre et la vision dernière qu'il donne des choses.

Une marqueterie d'aires continentales et de géosynclinaux, de pièces rigides et d'articulations souples, règne sous les océans comme dans les continents et dans leurs annexes. Marqueterie demeurée debout, ou abîmée par larges affaissements, ou inexistante, peu importe en première ligne : les grandes règles du jeu sont les mêmes partout. Des géosynclinaux se forment ; ils se comblent de plis qui tendent à se ranger en chaînes doubles et parfois autrement ; ils se reforment en se localisant, et ainsi de suite jusqu'à extinction de la puissance. De grands effondrements s'affirment, qui ont pour conséquence des poussées latérales. Les chaînes réagissent par des plissements et par des charriages qui, même considérables, demeurent locaux à l'égard de l'ensemble. A voir cet ensemble, tout s'*incruste* sur place, avec le temps, dans le sens vertical.

Cette vue classique, en la supposant juste, doit naturellement se fondre avec les plus grands des aspects révélés par notre enquête, et singulièrement avec le jeu des plis de fond, manifestation principale du plissement de cette planète, et réalité indépendante de toute théorie. Elle se complique sans difficulté de plis de fond qui jouent dans toutes les masses continentales et notamment, par reviviscence, dans les ex-géosynclinaux figés. En laissant de côté tout souci d'explication théorique, en se bornant à une imagerie de mouvements, il n'y a rien là que de conciliable.

Mais les difficultés de la théorie de la contraction — supposée liée au fixisme — sont de beaucoup accrues par la nécessité de rendre compte des plis de fond. D'aucuns tenaient déjà la contraction pour inadéquate à l'explication du raccourcissement total dû aux plissements ordinaires. Il y aurait beaucoup à dire sur ce point et plus encore sur une question préalable, qui est celle des moyens d'estimer le raccourcissement. Mais passons. Les plis de fond comportent, comme les chaînes neuves, de grands charriages qui ne facilitent ni l'estimation du raccourcissement, ni la

tâche du contractionnisme fixiste. Mais ils impliquent, surtout, une dépense énergétique qui dépasse énormément tout ce qu'on a pu considérer jusqu'à aujourd'hui. En estimant le tonnage des plis de fond un peu réglés, pour toute la Terre, à dix fois celui des chaînes neuves, on reste certainement au-dessous de la réalité ; et comme les grands boucliers anciens ne sont, pour l'essentiel, que de très vastes plis de fond, de grands *brachyanticlinaux de fond*, c'est cinquante à soixante fois qu'il faut dire, ou davantage. Et puis tout cela n'est encore que le rapport volumétrique ; pour passer au rapport énergétique, il faut tenir compte du degré élevé de figé et tout multiplier par un coefficient qu'on ne saurait indiquer exactement aujourd'hui, mais qui est certainement considérable. Voilà bien des sujets de méditation en quelques mots.

La vue classique, jointe à celle des plis de fond, permet certainement des tours hardis. En voici un auquel j'ai pensé : que les méditerranées, les mers bordières et les océans soient tout simplement des synclinaux de fond. Ces géosynclinaux d'un nouveau genre, formés par compression latérale et devenant le siège de compressions latérales plus particulières, créatrices de chaînes, expliqueraient sans doute bien des choses : on ne peut s'empêcher de penser aux guirlandes de tout site, aux Océanides et aux crêtes allongées qui sinuent au milieu de l'Atlantique et dans la partie occidentale de l'Océan Indien. Cette conception mène tout droit à l'idée de la continuité et surtout de l'universalité du plissement, qui devient la seule affaire. En effet, à considérer de ce point de vue le milieu clos formé par la planète entière, on embrasse d'un coup, en droit, la totalité des aspects horizontaux et des aspects verticaux du jeu. Il devient tout-à-fait vain de se demander si les mouvements radiaux suivent ou précèdent originairement les mouvements tangentiels, et quels rapports les uns soutiennent avec les autres : cette question, débattue par des générations de géologues, conserve sa légitimité aux échelles parcellaires, mais n'a plus de sens à l'égard du tout. L'inaptitude des milieux plastiques à transmettre, au-delà d'une certaine distance, un effort utile, n'est pas un obstacle invincible, à la condition d'admettre dans les hauts, pour les fonds océaniques, le genre d'hétérogénéité que révèlent avec certitude les fonds continentaux. La vue classique, ainsi renouvelée, serait susceptible de longs enrichissements, et il se passerait du temps avant qu'on en voie le bout. Malheureusement pour tout cela, il y a l'isostasie, et nous verrons qu'il a plus.

Les hypothèses fixistes concèdent parfois la possibilité de petites translations. Le centre de figure d'un continent accomplirait ainsi de petits déplacements autour d'une position moyenne. Mais dans ce cas, où s'arrêter dans la voie des translations ?

J'ai longuement soupesé les conséquences tectoniques de l'hypothèse suivant laquelle les fonds océaniques seraient faits d'un *sima* entièrement recouvert d'un sal plus mince que celui des continents. Cette hypothèse,

dont le principe remonte à AIRY, a été cultivée par Osmond FISHER et par LIPPMANN. Elle permet de concevoir des dérives continentales *entravées* par le voile de *sal* qui subsiste au fond de l'océan, et que cette poussée contribue à plisser. Appliquée aux Océanides et aux objets de même apparence que montrent l'Océan Indien et l'Océan Atlantique, elle rendrait compte de l'élégante liberté avec laquelle ces arcs semblent se répandre. On aurait affaire à des plis de fond d'espèce particulière, aux *plis d'un fond mince*, qui joueraient avec une certaine agilité, couvertures comprises, et que rien n'empêcherait, le cas échéant, de se compliquer de chaînes neuves. On peut souvent s'arranger pour rendre l'hypothèse des fonds minces compatible, qualitativement, avec la répartition de la pesanteur; mais cette hypothèse, étendue à tout le domaine océanique, est tenue pour peu conciliable avec la distribution du magnétisme terrestre. On accueillera donc avec une certaine réserve l'idée des jeux dont je viens de parler, en se souvenant toutefois que si la théorie des grandes translations est vraie, il peut exister en plus d'un fond des restes de sal aminci par des étirements antérieurs, et dans lesquels ces jeux peuvent se produire.

La validité d'une théorie n'est rien autre que son aptitude à *représenter* l'ensemble des faits connus au moment où elle a cours. A ce compte, la théorie des grandes translations continentales est d'une validité florissante. Dans ses commencements, elle a visé à l'absolu; dans la suite, elle a beaucoup gagné en force et en souplesse, sans rien sacrifier de son armature rationnelle, au contraire enrichie et de mieux en mieux harmonisée à la vision qui mène l'ensemble. Ce travail d'épuration et d'affinement est très sensible au long de la série des ouvrages de M. WEGENER. Fortement établie aux points de rencontre de la géophysique, de la géologie, de la biogéographie et de la paléoclimatologie, elle n'a pas été réfutée. Il faut avoir longuement cherché des objections, et surtout en avoir trouvé quelques-unes, pour estimer à son prix l'espèce d'immunité qui la distingue, et qui lui vient d'une extrême flexibilité jointe à une grande richesse en tours opératoires. On pense tenir une objection décisive; encore un coup et tout va craquer; mais rien ne craque: on n'a oublié qu'un ou plusieurs tours. C'est la résistance protéenne d'un univers plastique.

Les objections se multiplient, assurément, mais presque toutes sont du genre que je viens de dire. De celles qu'on a publiées, ou auxquelles on peut penser, le petit nombre porte, atteint quelques accessoires et jamais, en l'état présent, les parties vitales.

En sorte qu'il est très vrai de parler de la validité de cette théorie, au sens que je viens d'indiquer.

Le non-avènement d'une réfutation ne saurait, en rigueur, être tenu pour une preuve. En rigueur toujours, bien des témoignages positifs peuvent n'avoir que la valeur d'arguments. Des faits nouveaux peuvent se rencontrer, qui aient force d'obstacle inébranlable. D'autres théories

fixistes ou mobilistes peuvent naître, ou renaître sous des formes rajeunies. Marcel BERTRAND n'a-t-il pas proposé, dans la fougue de ses derniers travaux, de faire tourner tout d'une pièce une certaine enveloppe du globe, astreinte à se déformer sur un certain noyau?

Mais dans le présent, il semble bien qu'aucun fait ne soit assez contraignant pour nous empêcher de goûter, sur ces radeaux où flottent nos destins, le délice des sages emportements auxquels nous convie M. WEGENER.

XXVIII

La valeur d'une théorie est tout entière dans la conformité entre les conséquences qui s'en déduisent et les faits bien observés. Elle dure juste autant que cette conformité, dont le mobilisme actuel offre de nombreux exemples que je n'ai pas à rappeler: je ne fais pas un exposé. Par contre il est utile, avant de s'embarquer, de donner de nouveaux coups de sonde.

Je me propose de mettre en évidence, par des jauges statistiques, quelques-unes des conditions les plus générales qui prévalent sous l'Océan Pacifique et qui ont des chances, par suite, de prévaloir sans beaucoup de changements sous les autres océans. Nous ne pouvons rien voir des fonds du Grand Océan, mais nous ne pouvons douter que le jeu des chaînes circumpacifiques dépende, dans une grande mesure, de la nature de ces fonds. Or, les chaînes offrent, dans leur tonnage et dans ses fluctuations par segments, un moyen approché d'estimer leur cote énergétique, leur dotation en énergie utile, c'est-à-dire consommée par la déformation interne y compris ses effets cassants. Il n'est que de s'en tenir aux dispositifs les plus vastes et aux durées les plus longues, afin d'éliminer, par le jeu des grands nombres, l'influence des petites fluctuations locales ou transitoires. En soumettant à un traitement analogue les chaînes de la Téthys et leur cadre de plis de fond, on a le moyen de comparer les cotes afférentes et à cette demi-ceinture du globe, et à la ceinture du Pacifique, et aux grands segments qui composent l'une et l'autre.

Des multiples inférences qu'on peut tirer de là, nous nous bornons à celles qui importent le plus au débat.

On a généralement le moyen d'estimer séparément et avec une approximation convenable, pour un segment donné, le tonnage *ravivé*, qui est celui des plis de fond, et le tonnage *neuf* ou des chaînes neuves. Le rapport des deux tonnages est utile à considérer dans bien des cas. Leur somme est le tonnage *total* du segment. Pour passer à la cote énergétique, il faudrait, en rigueur, affecter le tonnage neuf d'un coefficient moyen notablement inférieur à celui qui regarde le tonnage ravivé. Comme le tonnage neuf dépasse rarement une minime fraction du tonnage ravivé, on ne commettra pas une bien grande erreur en regardant la cote énergétique comme pro-

portionnelle au tonnage total, pourvu qu'il s'agisse, bien entendu, de très grands objets dont les jeux ont embrassé une très longue durée. Pour rendre les résultats comparables de segment à segment, il faut encore diviser les tonnages totaux par la longueur du segment correspondant. On obtient ainsi le tonnage *normatif*, ou tonnage par unité de longueur. Les fluctuations de cette grandeur donneront, sauf cas spéciaux, une image approchée de la tenue générale de la résistance externe.

En passant aux faits les plus significatifs, on les groupera en trois ordres.

En premier lieu, le tonnage normatif est soumis à de plus grandes fluctuations dans la demi-ceinture que dans la ceinture. A la limite inférieure, les deux dispositifs partent de valeurs basses ; à la limite supérieure, aucun segment circumpacifique ne s'égale au segment de l'Asie centrale. Le plus vigoureux d'entre eux, le segment américain compris entre les 34^e et 49^e parallèles nord, reste notablement au-dessous.

Le tonnage des Océanides est certes considérable, mais il s'étale sur des étendues telles qu'on ne saurait accorder à toutes ses parties, à l'égard de l'Australie, la fonction de chaînes périphériques qui est si manifeste, dans le reste du dispositif circumpacifique, à l'égard de l'Asie ou des deux Amériques. On ne le saurait, en tous cas, sans hypothèse préjudicielle. Il en faut retrancher pour le moins, dans des jauges de cette espèce, tout le tonnage de la Micronésie et de la Polynésie, dont les chaînes ne présentent pas, comme les arcs de la Mélanésie, des Fidji, des Tonga, de la Nouvelle-Zélande et des régions plus internes, cette apparence de centrage sur l'Australie qui annonce, au moins pour une partie d'entre eux, des relations génétiques et dynamiques intimes avec ce continent. Par son tonnage normatif, le dispositif restant — Océanides intérieures vraiment circumpacifiques et non pas intrapacifiques — reste au dessous du segment de l'Asie centrale.

La moindre amplitude des fluctuations annonce, pour l'ensemble des chaînes circumpacifiques, un jeu moins inégal, moins sujet aux extrêmes que celui de la demi-ceinture.

En deuxième lieu, le tonnage normatif est notablement supérieur, pour l'ensemble de l'Amérique du Nord, à ce qu'il est pour l'ensemble de l'Asie orientale. La dotation énergétique utile, c'est-à-dire consommée en plissements, a été sensiblement inférieure dans le dernier cas.

En troisième lieu, cette infériorité de l'Asie orientale s'aggrave du fait que le tonnage neuf, moins exigeant, y est absolument et relativement supérieur à ce qu'il est dans l'Amérique du Nord. Ce dernier continent ne montre presque pas de tonnage neuf. Quand on a retranché les sierras du Mexique oriental, déjà méditerranéennes, et les parties neuves proprement alpines des Coast Ranges au sens large, il ne reste guère que des plis de fond laramiens à matériel mort très ancien, et des plis de fond alpins à matériel andin. De puissants plis de fond sont certes engagés dans les chaî-

nes neuves de l'Asie orientale, comme il se voit surtout dans les grandes îles du Japon où le tonnage ravivé est probablement supérieur au tonnage neuf, et comme il se voit encore, à un moindre degré qui peut-être ne tient qu'à une moindre exaltation moyenne, à Sumatra et dans d'autres parties de l'Insulinde. Mais dans l'ensemble, la supériorité de l'Asie orientale sur l'Amérique du Nord, en fait de tonnage neuf par unité de longueur, ne fait pas question.

Toute théorie du Pacifique devra rendre compte de ces faits. Remarquons d'abord, sans préjuger le fixisme ou le mobilisme, que *les fortes fluctuations du jeu de la Téthys, arrières compris, décèlent l'influence prépondérante de l'hétérogénéité des deux sals qui s'affrontent, et de leur conformation compliquée, et de leur dure rencontre*. Inversement, *les faibles fluctuations du tonnage circumpacifique annoncent la présence ou la dominance, sous le Grand Océan, d'un milieu plus homogène et plus rémissif que les hauts hétérogènes et toujours très résistants des blocs continentaux*. Il n'y a donc pas de continent pacifique affaissé. Et partant, il n'y a pas de géosynclinal circumpacifique. Les chaînes de la ceinture, pour autant qu'elles sont faites de plis de fond, sont sorties du socle ou du talus continental. Pour ce qui est du tonnage neuf, il comprend les couvertures plissées, continentales ou néritiques du socle ; les chaînes qui naissent des dépôts frais, néritiques ou bathyaux, accumulés par grandes épaisseurs sur le talus et parfois à son pied, grâce à des glissements sous-marins qui ont pour conséquence, aux grandes profondeurs, des intercalations répétées et des mélanges de ces dépôts avec les sédiments abyssaux. Ces derniers peuvent donc être ramenés au jour en petites quantités. Le jeu des glissements est le même que sur les deux talus concourants d'un géosynclinal ou sur les deux versants opposés d'une cordillère géanticlinale submergée. Le talus unique, pendant l'évolution de ces chaînes, peut se subdiviser en cordillères et en sillons de plissement comme le feraient les deux talus d'un géosynclinal. Les plus profonds de ces sillons peuvent loger des dépôts abyssaux, toujours comme dans un géosynclinal. Le poids des dépôts plus épais, bathyaux ou néritiques, qui s'accumulent sur le gros du talus, peut se marquer, à la longue, par un très large sillon d'origine isostatique, qui déprime toute la zone surchargée sans que la conformation de la surface du talus en soit nécessairement très modifiée ; mais cette large alvéole, qu'aucun continent ne borde d'un côté, ne saurait sans excès être taxée de géosynclinal. On en doit dire autant du dispositif entier. Plis de fond, plis neufs et chaînes neuves circumpacifiques sont le résultat de la déformation du bord du continent, et singulièrement du talus. C'est du talus prodigieusement déformé que jaillissent les plis de fond qui paraissent au cœur même des chaînes neuves, comme au Japon et par places dans l'Insulinde. Le gros des chaînes neuves vient aussi du talus, mais de l'étage supérieur avec ses sédiments aisément déformables. Pour éviter de confondre ces chaînes neuves

avec les vraies chaînes géosynclinales, je me servirai du terme de *chaînes liminaires*, qui rappelle le site de ces objets au seuil, à l'entrée du domaine continental, et qui implique, avec un dispositif *monoclinal* au départ, les jeux dont on vient de parler.

La théorie mobiliste actuelle rend compte, sans difficulté, des faits de distribution du tonnage et de leurs interprétations immédiates. Pour elle, le milieu relativement homogène et rémissif qui occupe le Pacifique est le *sima*. Certes le comportement du *sima* à l'égard du sal peut présenter de grandes différences suivant qu'on fait intervenir de diverses manières la plasticité ou la viscosité des milieux, la durée et l'intensité des efforts. Mais pour que des dérives continentales se produisent, il faut que les jeux dans lesquels le *sima* se montre rémissif l'emportent, au long des temps, sur ceux dans lesquels il fait tête et oblige le sal à prendre des plis. D'un point de vue largement statistique qui embrasse tout le globe et toute la durée des jeux, il n'en peut être autrement s'il y a un *sima* sur lequel de grands radeaux de sal dérivent.

La théorie mobiliste explique aisément le deuxième et le troisième groupe de faits, dans lesquels s'avère l'infériorité énergétique de l'Asie orientale à l'égard de l'Amérique. Elle admet des *jeux de proue*, qui pressent et plissent le sal contre le *sima*, sous certaines conditions. Elle admet aussi des *jeux de poupe*, qui consistent en une rétraction du sal d'où résulte, pour cette matière, l'interruption plus ou moins complète du plissement, avec prédominance des effets de traction : fractures distensives, déchirures en boutonnières qui créent les mers bordières, *lâchers* de cordillères qui désormais traînent à l'état de guirlandes plus ou moins détachées, dans le sillage du continent, cependant que le *sima*, obligé de s'adapter à tant de conditions nouvelles, monte sous les mers bordières et dans les espaces fraîchement évacués par les guirlandes, au côté poupe. Du retard avec lequel se fait cette montée, dans la dernière affaire, résultent les profonds sillons dont la notion classique fait des avant-fosses. La théorie mobiliste demandant, enfin, que le jeu de proue ait été prédominant au bord occidental de l'Amérique, et que le jeu de poupe ait régné assez longtemps en Asie orientale, la supériorité de la première et l'infériorité de la seconde en tonnage plissé s'expliquent d'elles-mêmes.

L'élégance avec laquelle la théorie des translations explique ces faits considérables, inconnus au moment où elle a été établie, est certes un grand témoignage en sa faveur. Aucun de ces faits ne démontre, en rigueur, la théorie mobiliste ou simplement l'hypothèse de la présence du *sima*, mais tous s'accordent parfaitement avec l'une et avec l'autre, au point de les rendre très vraisemblables.

Le contractionnisme fixiste, avec continents affaissés, peut tenter de rendre compte des mêmes faits, mais à deux risques. Il devra faire intervenir, dans l'explication des fluctuations, les changements de la puissance

plutôt que ceux de la résistance, afin d'écarter le plus possible l'idée d'une différence essentielle de nature entre fonds océaniques et fonds continentaux. Mais le degré extraordinaire de rempli, de synergie qui est inhérent à sa première mise de jeu implique une certaine égalité dans la distribution originaire de la puissance, et exige l'explication des différences segmentaires par la résistance principalement. D'où un commencement de contradiction interne dont on ne peut dire encore jusqu'à quelle profondeur il mine l'économie du système. Le second point faible, c'est le caractère entièrement fortuit que prennent, dans cette hypothèse, les fluctuations du tonnage et de la cote énergétique. Les faits révèlent une loi statistique qui émerge du hasard et qui le domine ; le mobilisme s'accorde d'avance à cette vue ; le fixisme qualifié doit tout attribuer au hasard. Ce désaccord est grave, car toute loi statistique, dans le monde inorganique, a une raison physique.

Si l'on considère à part le tonnage normatif d'âge andin, on le trouve plus considérable en Amérique que partout ailleurs. En Nouvelle-Zélande il domine, ce qui est très naturel si l'Australie, encore rattachée à l'Amérique du Sud par l'Antarctide, a jadis joué de proue comme le veut le mobilisme.

En Asie orientale, le tonnage andin est assez considérable, mais déficient par rapport à l'Amérique du Nord ; le dispositif d'origine étant en grand le même, il reste que cette différence soit due, pour l'Asie orientale, à l'intervention de jeux de poupe d'âge andin, plus tard effacés par des jeux de proue alpins, aux paroxysmes notamment, et enfin repris, à une époque récente, avec l'ampleur que nous voyons. Il n'y pas seulement succession, il y a encore alternance des deux jeux. Cette notion est bonne à garder, quand il s'agit de débrouiller des cas complexes. Elle est d'ailleurs plus générale que celle de simple succession ; elle a donc bien des chances de s'appliquer, avec des degrés, à l'ensemble des géosynclinaux et des monoclinaux. La dérive totale s'exprimerait donc, pour un point matériel, par des trajectoires assez complexes, en courbes entrelacées et parfois en parcours brisés, à la manière d'un mouvement brownien en grand ; avec le temps s'affirmerait une composante vers l'ouest, et une autre vers l'équateur. Du fait de ces trajectoires compliquées, les jeux de monoclinaux, en chaînes liminaires, et les jeux de géosynclinaux sont susceptibles de mille espèces d'obliquité et de déplacements en long : c'est un enrichissement considérable de l'imagerie. Les mêmes circonstances expliquent aussi, en faisant intervenir les frottements intérieurs du sal, les lents changements d'azimut des filets d'écoulement, avec le temps, dans les flux intra-continentaux.

La théorie mobiliste rend compte, au moins qualitativement, du plissement de fond. Le radeau de sal se déforme et plie en avançant. La résistance frontale du *sima*, au pourtour, est efficace sous certaines conditions ; le frottement basal du même, à la face inférieure du sal, et les frottements

plus complexes qui naissent dans les dispositifs où les deux milieux s'interpénètrent ou passent l'un à l'autre, provoquent eux aussi, au profit de la déformation du sal et du plissement de fond, un prélèvement sur l'énergie de translation. On conçoit encore d'autres dérivations d'énergie. Les frottements internes du sal font le reste, de proche en proche. Les étages profonds du sal prennent une déformation fort active, et sans doute assez également répartie, comme on peut le croire de la matière. Les fonds proprement dits, c'est-à-dire les premiers hauts du sal, base de la marque-terre hétérogène, de la *zone tectonisée*, introduisent les spécialisations du flux que nous avons étudiées et localisent les plis de fond, qui transmettent leur forme gauchie vers les derniers hauts, sub-surface et surface, avec toutes les altérations et fractures qui résultent de la propagation dernière de l'énergie en ces milieux moins pliants. Tout à la base, de grandes loupes de sal, les *loupes profondes*, pourront se former, par isostasie, sous les principales conformations saillantes de la surface, comme l'a montré M. Albert HEIM pour les chaînes neuves et singulièrement pour les Alpes. Ces loupes ont souvent la tendance à s'étaler sur une plus grande largeur que la chaîne visible.

Il est à croire que le plissement de fond marque quelques jeux en plus et d'autres en moins, sur les points où le sal est mince.

Il va de soi que la théorie mobiliste devra s'occuper de trouver une source d'énergie adéquate non seulement au travail de translation, mais encore au travail considérable que nécessite le jeu des plis de fond.

Je n'ai pas à rappeler les jeux par traction que suppose la théorie mobiliste. Ils sont, en quelque sorte, le phénomène complémentaire du plissement de fond, le résultat d'une compression négative. Grandes fractures pas toujours aisées à distinguer de celles que provoque, à titre secondaire, le plissement de fond ; boutonnières déchirées où finit par apparaître le sima ; formation, par écartement continué, de mers et d'espaces océaniques ; guirlandes enfin, tenues en laisse ou complètement lâchées, passent pour l'expression de ces jeux. On peut chercher leur origine, pour une bonne part, dans les variations de l'adhérence basale ou frontale entre sal et sima ; dans le régime mécanique des *éponges* en lesquelles les deux milieux s'interpénètrent ; dans l'*ancrage* que peuvent présenter, à titre transitoire, certaines parties profondes du sal.

Dans les couronnes plissées de jeu circumpacifique, à plis de fond et à chaînes liminaires, la distribution de l'énergie utile ne peut être de tout point identique à ce qu'elle est dans les géosynclinaux et dans leurs arrières à plis de fond. Dans les deux sortes de dispositifs, les plis de fond sont actionnés principalement par l'énergie intra-continentale. L'énergie de serrage, considérable dans le premier dispositif pendant que le sima résiste, a moins d'importance ou manque pendant que le sima cède. Quant à l'énergie restituée par les chaînes liminaires, sa part peut être notable

au cas où le déversement de ces chaînes se fait vers le continent ; elle peut tomber à peu de chose ou manquer au cas où le déversement se fait vers l'océan. Dans les deux dispositifs, le prélèvement destiné aux chaînes neuves est défrayé principalement par l'énergie intra-continentale.

La théorie mobiliste a quelque peu négligé la notion de géosynclinal. Il convient donc d'esquisser un raccord. Un géosynclinal résultera en général, d'une *traction* horizontale qui étire le radeau de sal. L'étirement est d'abord plus aisé dans les profondeurs du sal que dans les hauts, où peuvent naître des fissures d'extension. En s'amincissant, le sal descend et se creuse : l'affaissement inhérent à la fonction géosynclinale n'est donc pas demandé à un jeu radial originaire : il n'est que l'effet vertical d'une distension horizontale. La surcharge des dépôts concourt, il va de soi, à accentuer l'alvéole, mais elle n'est pas nécessairement le fait primitif. Jusqu'à compensation, le sima monte sous le sal aminci : ce jeu rend compte de la fréquente association de roches vertes à des sédiments bathyaux ou abyssaux. Le mélange des derniers avec des dépôts de moindre profondeur se fait par des glissements sous-marins sur déclivité. Les pieds-droits de la zone amincie, qui ont conservé l'épaisseur normale du sal, sont les serres du géosynclinal. La compression vient-elle à remplacer la traction, les serres se rapprochent et le jeu géosynclinal classique avec son plissement embryonnaire par cordillères, sillons et avant-fosses véritables, commence : la conclusion, presque toujours, est la mise en place de deux chaînes géosynclinales à déversements opposés.

La traction continue-t-elle, au lieu de céder le pas à la compression, le sal finit de s'étirer et le sima apparaît au fond de l'alvéole. Sur les diamètres où cela arrive, la condition géosynclinale fait place à la condition océanique ; si le fait se généralise, il n'y a plus qu'un océan. Qu'en cet état ou un peu avant, alors que le sal n'est que très aminci, survienne un rapprochement : faute de synergie, il se constituera un ou deux trains de chaînes liminaires, de jeu circumpacifique, et non la double chaîne de type géosynclinal. Le rapprochement continuant, ce dernier type s'établira par degrés, et peut-être parviendra-t-il à prédominer ; mais des traces de la condition simplement ou doublement liminaire persisteront, voilées.

Le jeu géosynclinal ordinaire est donc, dans son principe, un tronçonnement lenticulaire incomplet du continent ; quand le tronçonnement est complet, la condition océanique apparaît.

Les choses peuvent d'ailleurs comporter moins de ménagements, et procéder par cassures distensives hautes et raides, qui coupent court aux étirements et laissent des serres plus massives, d'où des différences dans les jeux pliants ultérieurs, quand il y en a.

Toutes ces déformations géosynclinales peuvent se compliquer, comme les déformations liminaires correspondantes, de jeux de poupe et de poupe,

de jeux obliques et de jeux en long, en alternances ou en simple succession. La complexité qui en résulte a des chances d'être plus grande dans un géosynclinal que dans un dispositif doublement liminaire : effet de synergie.

De petits géosynclinaux intra-continentaux peuvent se former sans étirement, par le simple effet continué d'une surcharge de dépôts ; aussi longtemps que les facteurs originaux règnent sans partage, ces alvéoles se maintiennent à peu près combles tout en continuant à fléchir par le tréfonds de leur région axiale.

Il y a entre tous ces types de géosynclinaux des transitions et des interactions que nous passons.

Au cas de translation ultérieure, le continent peut dériver sur les loupes profondes qui s'en trouvent désaxées, en plan, à l'égard des intumescences visibles et qui traînent, plus ou moins déformées ou étalées à l'arrière de leur site originaire, en produisant des effets ascensionnels dans leur site nouveau, généralement affecté, par suite de cette importation de sal, de notables anomalies négatives. M. WEGENER a indiqué ce jeu pour la loupe sous-alpine, qu'une dérive du continent au sud-ouest a désaxée et laissé traîner au nord-est en l'engageant, pour une part, sous les régions méridionales de l'Europe centrale extra-alpine. Des portions de loupes, des loupes entières peut-être se mettent en retard par de semblables jeux. Au côté proue, l'avance du bord de la chaîne, à l'égard du bord de la loupe, peut aller jusqu'à faire apparaître des anomalies positives à distribution plus ou moins zonale. A l'arrière, la liquidation des loupes peut être poussée, au cas de translation considérable, jusqu'au lâcher du sal qui les constituait ; ce matériel, désormais séparé de la masse continentale et très déformé, est censé remonter lentement dans le Sima au côté poupe. Les divers jeux qu'on vient de rappeler constituent la *dérive sur loupes*, procès qui marque des degrés et une évolution dont le lâcher est le terme, en même temps qu'il est le prélude d'autres effets.

Il va de soi que la dérive sur loupes ne peut être regardée comme un effet accessoire : il s'agit d'une intervention capitale de la translation. Les formes antérieurement acquises par les éléments plissés, au cours des jeux d'axe originaux, sont modifiées par les montées et les descentes isostatiques que les dérives sur loupes, en remaniant la base du sal, ne peuvent manquer de déterminer, et ces modifications s'ajoutent à celles que provoquent les jeux que nous avons appelés accessoires. Mais le fait que la règle des jeux d'axe se vérifie statistiquement pour l'état présent, résultat global et moyen de tout ce qu'il y a eu de jeux pliants en de très longues durées, montre que ni les dérives sur loupes, quelle que soit l'importance de leurs effets, ni les jeux accessoires, ni le concours de ces deux sortes de perturbations, n'ont abouti à une liquidation générale, ou simplement à un remaniement très grave des conformations visibles. La

raison en est évidente. La dérive sur loupes, comme les jeux secondaires et plus efficacement sans doute, tend bien à liquider les conformations antérieures, visibles ou profondes ; mais en même temps l'effort de translation tend à maintenir, à accentuer, à compliquer le gros des plissements antérieurs, à l'enrichir d'éléments plissés entièrement nouveaux, avec tout ce que ces affaires impliquent de jeux infratectoniques constructeurs, de loupes accrues et de loupes nouvelles. Une lutte se poursuit donc entre les altérations destructrices, d'une part, et les restaurations, les remaniements constructeurs, les constructions nouvelles d'autre part. On conçoit que le premier groupe de facteurs puisse parfois l'emporter, à titre de fluctuation dans un état statistique moyen, pour de petits objets considérés en de courtes périodes. Mais dans l'ensemble qu'il nous est actuellement donné d'embrasser, dans les grands territoires travaillés et retravaillés en de longues durées, la prépondérance n'en appartient pas moins au second groupe, aux jeux bâtisseurs. Il s'établit une sorte de compromis entre les deux genres de procès, les choses se prononçant d'emblée ou finissant par tourner à l'avantage du plissement et de ses accompagnements infratectoniques. Notre règle des jeux d'axe le montre à l'échelle des chaînes neuves et des plis de fond, dans l'ordre du visible et du concret.

A l'échelle continentale, le lent exhaussement que l'ensemble du sal éprouve, suivant M. WEGENER, du fait de la compression et du plissement répétés, se traduit dans l'ordre conceptuel par le resserrement de la courbe hypsographique. Cette vue est à l'échelle continentale ce que notre vue des jeux d'axe est à l'échelle des chaînes neuves et des plis de fond. Il s'agit, dans les deux cas, d'objets qui, en se rétrécissant plient, et en pliant montent, si l'on n'a égard qu'au jeu dominant. En sorte qu'il est loisible, en un sens, de parler de chaque continent comme d'un très grand pli de fond amovible et sécable, au jeu duquel se subordonne une foule de déformations plus particulières : plis de fond en boucliers, dômes ou plateformes ; plis de fond réglés ; effets de traction ; chaînes neuves, géosynclinales ou liminaires ; effets infratectoniques ; plissements de couverture et ainsi de suite. On dira, de ce vaste pli de fond compréhensif, que ses rayons de courbure sont extrêmement grands, et que l'isostasie, particulièrement efficace à cette échelle si considérable, impose à la carapace du pli une conformation générale des plus lisses, des plus régulières, avec une ascension des plus mesurées.

L'accord des deux vues, à l'échelle des plis de fond ou des chaînes neuves et à l'échelle continentale, est d'autant plus remarquable qu'il a été moins cherché. La vision des jeux d'axe m'a été inspirée, à l'origine, par les rapports qui existent entre les culminations ou les ennoyages des plis alpins, d'une part, et les massifs-obstacles, de l'autre ; j'ai maintes fois traité ce sujet, par le dessin ou par la plume, dans des publications dont la plus ancienne est de 1911.

On entrevoit, à travers l'esquisse ou le rappel de tant de jeux, la complication de ce qu'il faut entendre par le flux plastique, cet écoulement essentiellement horizontal auquel se subordonnent, dans le sima et dans le sal, mille effets dont nous ne devinons, de nos jours, que la moindre partie.

Les plus notables exceptions à la règle des jeux d'axe, par remaniements ultérieurs, sont le fait des fragments séparés, par distension, des grands tènements continentaux, dans des conditions qui empêchent la reprise du plissement ou qui en modifient gravement le jeu. Les guirlandes plus ou moins lâchées ont des chances de rentrer dans ce genre d'exceptions, et les axes de leurs plis de montrer vingt espèces de réajustements, les uns actifs en quelque manière, en un plissement qui n'est que modifié dans ses conditions, les autres passifs, par pure adaptation isostatique à l'assiette offerte par le sima.

Il y a des différences essentielles entre nos plis de fond et les plis à grand rayon de courbure (Grossfalten) dont a traité M. ABENDANON. Nos plis de fond ayant été définis, leurs principales formes décrites et leurs jeux les plus importants mis en vedette, ces différences se posent d'elles-mêmes.

XXIX

Dans la mise au point dont nous sortons, nous avons rencontré des faits très généraux, d'une portée inattendue. Nous avons esquissé une imagerie de mouvements qui s'accorde à celle du mobilisme, en même temps qu'elle la prolonge, mais qui doit beaucoup à la tectonique reçue, qu'elle prolonge pareillement. Nous avons ainsi réuni une collection de tours opératoires compatibles, en possession desquels nous nous tournons, sans autre prétention que d'échantillonner quelques jeux, vers des régions déjà effleurées par nous. De quelques objets qu'il s'agisse, océans ou vieux boucliers, plis de fond ou mers bordières, chaînes liminaires ou chaînes géosynclinales, nous les abordons avec une seule prévention, qui est de tenir les combinaisons de jeux les plus compliquées pour les plus vraisemblables, quitte à en rabattre si les faits nous le permettent. Les réserves que nous avons exprimées, à l'égard de toute tectonique non concrète, nous suivent silencieuses ou nous accompagnent en sourdine, au long du récit.

Le continent nord-américain montre à une échelle grandiose le phénomène de la dérive sur loupes. Cette interprétation est immédiatement suggérée par la distribution des anomalies BOUGUER aux Etats-Unis. L'avant, au côté pacifique, montre des régions positives dont on ne peut encore dire dans quelle mesure le défaut d'aplomb dû à la dérive sur loupes, la perturbation positive de HELMERT afférente à l'arête supérieure du talus continental, et la distribution plus locale des densités doivent concourir à l'explication des anomalies observées. Mais l'arrière, où se

marque avec évidence la dérive sur loupes, montre qu'il y aurait imprudence à éliminer ce facteur des explications relatives à l'avant. La zone des fortes anomalies négatives empiète à des centaines de kilomètres à l'est du front visible des Laramides, sous les Prairies. Dans la même direction, le gros des anomalies va en diminuant et la loupe en s'amincissant, cependant que sa face inférieure se relève, et le sima avec elle. Le gros de cette conformation se termine à une ligne sinueuse, d'allure générale méridienne, encadrée à l'ouest par le 103^e et à l'est par le 97^e de longitude, réserve faite du degré d'approximation compatible avec le grand espacement des stations. Il se peut qu'une compensation solidaire, affectant à la fois la région des chaînes et celle des Prairies, fasse fléchir la seconde vers le bas et contribue à l'explication du défaut de masse qui s'y marque, mais comme rien de semblable ne s'avère au côté ouest des chaînes, le caractère unilatéral du jeu est évident et l'on ne voit que la dérive sur loupes pour rendre compte de l'essentiel.

Plus à l'est, sous le centre des Etats-Unis, semblent prévaloir de faibles anomalies négatives, avec de notables exceptions positives que nous passons. Au delà, la loupe sous-appalachienne se montre un peu désaxée, à l'égard de l'intumescence visible, vers l'est ou le sud-est ; l'effet est plus modéré que pour la loupe des grandes chaînes de l'ouest, mais il est de même sens, et la dérive sur loupes explique l'essentiel des deux conformations. En continuant à dériver vers l'ouest, le continent tend à se dépouiller d'une partie de ses loupes profondes, qui se mettent en retard.

Notre *Proto-Atlantique*, géosynclinal calédonien et en partie plus ancien, dont les traces courent du domaine arctique aux régions antarctiques, n'est peut-être pas inconciliable, pour ce qu'on en connaît, avec l'imagerie fixiste. Les grands affaissements qui sont censés avoir créé le présent Atlantique auraient renouvelé la disposition générale de l'ancien plan, et seraient dûs au retour d'un certain nombre de conditions analogues. La crête centrale de l'Atlantique marquerait un commencement d'obturation par des plis disposés en travers du plan hercynien et alpin, et inaugurerait, en reprenant l'essentiel du plan calédonien, un cycle orogénique post-alpin. La longue persistance des géosynclinaux, dont la vie peut embrasser plusieurs cycles, avec conservation du même plan général, est certes un fait établi. Mais le retour alterné de plans qui se croisent, à cette échelle et pour des périodes de cette durée, pose un problème bien différent et de solution malaisée dans les hypothèses fixistes, à moins de s'en tenir au hasard.

Dans la conception mobiliste, la formation du Proto-Atlantique devient, plus simplement, une vieille ébauche d'Atlantique, engendrée par traction et amincissement d'un très ancien continent, avec translations. La condition géosynclinale a été atteinte, nous le savons. Que la condition océanique l'ait été, nous ne le savons pas, mais cela n'importe pas essentiellement, non

plus que de savoir si le géosynclinal était simple, branchu ou multiple. Le plissement calédonien, résultat de translations inverses, d'un rapprochement des dispositifs qui s'étaient écartés, a rétabli la soudure. Nous ne saurons probablement jamais s'il l'a rétablie sur toute la longueur: l'Atlantique actuel cache trop de choses. Le plissement de cette grande branche calédonienne n'est que la cicatrice d'une antique lésion, qui s'est renouvelée plus tard avec la gravité que montre l'espace béant du présent Atlantique. Un des avantages du mobilisme, en cette affaire, est de réduire à une même vue l'explication de l'un et de l'autre Atlantique, en se servant du croisement des plans au lieu de s'en embarrasser.

On a relevé, non sans raison, le fait que le géosynclinal calédonien d'Ecosse et de Scandinavie a joué en chaîne double, à déversements opposés. Des deux côtés nous trouvons, à la marge, des charriages cassants qui résultent, pour le dire incidemment, de plis de fond calédoniens qui ont retravaillé le Précambrien du bord même des massifs hébridien et baltique, avec les couvertures cambriennes ou cambro-siluriennes, et qui ont satisfait par ces grandes cassures peu inclinées, en dépassant tout réglage, leurs tensions internes. Mais le style beaucoup plus pliant qui prévaut dans le grand intérieur des Highlands, comme dans celui de la chaîne scandinave, est proprement le style géosynclinal, d'habitus plastique.

La Méditerranée et ses chaînes offrent à la théorie mobiliste un champ difficile et une épreuve qu'elle doit subir, si elle prétend à un suffrage plus que passager. La petitesse de l'échelle ne permet pas les larges aperçus statistiques auxquels elle se plaît, ni le déploiement aisé des plus grands jeux auxquels elle a recours. Le genre de complication en petit que présentent les structures, tout ce *puzzle à trois dimensions* dont beaucoup de pièces sont déformées au point d'être presque méconnaissables, et cette stratigraphie exigeante, prête à enserrer dans sa chronologie raffinée chaque phase un peu importante des mouvements, lui imposent la nécessité d'un progrès mesuré et prudent. Elle ne saurait, d'ailleurs, sans le secours d'un grand nombre de tours opératoires empruntés à la tectonique reçue, entrer bien avant dans ce problème trop voisin de la limite inférieure des échelles qui l'intéressent.

Mais, à ne voir que les difficultés, on ne passerait jamais au travail positif. On admettra donc, sous bénéfice d'inventaire, que l'histoire de la Téthys et celle de son segment méditerranéen ont épuisé toute la complication des jeux multiples que nous avons rattachés à la condition géosynclinale, y compris les passages aux conditions océanique et liminaire. On se bornera, d'ailleurs, à un petit nombre d'aperçus. (Fig. 13 à 27).

En des pages de lumière, M. TERMIER a montré le pays dinarique surmontant les Alpes et passant sous l'Apennin.

Il y a quelques années, j'ai fait voir que le socle ancien du pays dinarique, tel qu'il se rencontre par exemple dans la Haute-Italie, n'est qu'un frag-

ment de l'Indo-Afrique. Cela revenait à dire que dans le segment qui comprend les Alpes, l'Afrique est montée sur l'Europe, le continent de Gondwana sur l'Eurasie. J'ajoutais que ce bord recouvrant appartenait à un grand promontoire saillant au nord, dont l'Afrique se compliquait, et qu'à ce promontoire répondait un rentrant de la vieille Europe.

Si l'on chemine, en effet, du socle cristallin des Dinarides de Lombardie aux tables de la Tripolitaine, en suivant la plaine du Pô et l'Adriatique, on ne croise ni ne longe d'objet qui autorise à admettre, pour un certain passé, une discontinuité du bloc continental. Ce qu'on recoupe de la chaîne dinarique, dans ces parages, n'est qu'un voile de sédiments de couverture un peu bousculés. Les crêtes et les sillons embryonnaires que la stratigraphie permet de restituer dans les parties plus orientales de l'arc dinarique, parties que d'ailleurs on longe et ne traverse pas, n'atteignent nulle part l'importance de la zone axiale du géosynclinal alpin, ou zone pennique: on doit donc les regarder comme des symptômes de la déformation pliante d'un talus qui appartenait aussi à l'Afrique. Les fragments tabulaires de la Pouille, du sud-est de la Sicile et de Malte esquissent l'ancienne jonction continentale, qu'interrompent aujourd'hui les abîmes de la mer Ionienne. Même terminé à la Haute-Italie, le promontoire de la Gondwanie serait une bien grande affaire, mais il ne s'arrête pas là: les nappes austro-alpines, cristallin et couvertures sédimentaires, n'en sont que le saillant le plus avancé et prodigieusement déformé. Les ébauches de ces nappes étaient des plis de fond qui prononçaient leur réglage cylindrique aux dépens du talus septentrional de l'Afrique, et peut-être du socle pour une part: d'où une riche différenciation en crêtes et en sillons embryonnaires, dont quelques-uns ont été fort profonds par moments. L'offensive de ces plis de fond, soutenue par la masse entière de l'Afrique en dérive vers le nord, est devenue si véhémement qu'ils ont cassé horizontalement par grandes nappes raides, en perdant tout réglage. Ils ont entraîné dans cette immense affaire leur couverture discordante, elle-même fragmentée en nappes étalées, repliées ou froncées; ils ont surmonté le vrai géosynclinal, la zone pennique, puis la zone helvétique, reste plissé de la couverture du talus européen de la Téthys; ils ont dominé, enfin, le bord même de la vieille Eurasie, visible dans le massif de l'Aar et remanié en plis de fond.

C'est ainsi que se marque, des abords de Vienne aux Grisons, et plus loin dans les Préalpes supérieures, visibles à l'horizon de Berne, de Neuchâtel, de Lausanne et de Genève, la superposition de l'Afrique à l'Europe.

Le promontoire africain, dans sa partie la plus saillante alors et la plus engagée aujourd'hui, était fait de plis hercyniens, d'un ruban d'Altaïdes africaines antérieurement plaqué contre le continent de Gondwana et devenu l'une de ses parties intégrantes. Le rentrant dans lequel il s'engrène, et avec lequel il présente des affinités rattachables, d'une manière compliquée,

à d'antiques dérivées, est esquissé par la vaste circonvallation à deux boucles qui loge actuellement, du sud-est de la France à la Roumanie, les nappes alpino-carpathiques. Ce remplissage de nappes ne permet pas, hors des Alpes occidentales, d'indiquer la forme exacte du rentrant européen. Mais il permet d'en apprécier les dimensions et l'ordonnance générale.

Cette pénétration de l'Afrique en pleine Europe, dont j'ai parlé autrefois dans d'autres arrangements, et en m'inspirant uniquement de faits concrets, me semble aujourd'hui inexplicable sans translations continentales, d'autant plus que l'amplitude des charriages, à ne prendre que ce qu'on en voit dans les planchers répétés des nappes austro-alpines, est énorme, et cela même en tenant compte des causes d'erreur par excès que recèle ce genre d'estimation.

Une autre Inde est venue affronter ici l'Eurasie, mais elle était de moindre taille que l'exemplaire asiatique. Et au lieu de passer dessous, elle l'a surmontée. Il se délimite ainsi, dans la longueur du continent, un *segment de l'Europe centrale* qui ressemble singulièrement, avec son massif baltique, son massif bohémien et son morceau de Gondwanie, au segment de l'Asie centrale avec les massifs sibérien, sérindien et indien. Mais tout, en Europe, est réalisé à une échelle plus petite.

En dérivant plus tard vers le nord, l'Europe a arraché à l'Afrique son promontoire, et l'a conservé entre ses plis. Il était trop engagé en Europe pour rester à l'Afrique. Du coup, l'abîme de la mer Ionienne et de la Grande Syrte s'est ouvert. Du coup aussi, les arcs helléniques, sud-anatolien et taurique, de Valona au golfe d'Alexandrette, ont été arrachés à l'Afrique, et le vaste bassin de la Méditerranée orientale a paru. Chypre a un peu traîné en poupe. Du coup encore s'est ouvert, par des tractions qui ont gravement désarticulé les chaînes préexistantes, le bassin de la Méditerranée occidentale. En parlant du coup, je sous-entends une durée. Le sal du promontoire africain persiste, étiré sous l'Adriatique, avec un amincissement qui va en croissant vers le sud, ce que révèle l'augmentation de l'anomalie gravifique positive dans cette direction. Le curieux sillon transversal que l'Adriatique présente sur le 15^e méridien est une autre manifestation de cet étirement.

Il est d'ailleurs mécaniquement inconcevable que le gros de la cordillère italo-sicilienne, ou de ce qui la représentait, ait été aussi rapproché qu'aujourd'hui de l'arc dinarique, aux temps de l'offensive du promontoire africain. Ce promontoire, pour avoir porté des coups aussi efficaces, et sur le front où ils ont été portés, doit avoir occupé un segment notablement plus long que la faible distance qui court actuellement de l'arc italique à l'arc dinarique. Il s'étendait vers l'ouest, massif et robuste, au moins jusqu'au 8^e méridien oriental. Le gros de la précordillère italique était donc encore plus à l'ouest.

Qu'en était-il, alors, de ce qui est maintenant la Méditerranée occidentale ? Un serrage intervenait, moins intense peut-être, par places, que sur les diamètres interceptés par le promontoire, mais considérable encore. Quels objets étaient serrés ? L'actuel massif corso-sarde occupait, avec une direction sud-ouest — rapportée au canevas actuel — la longue alvéole, de même dimension que lui, qui s'étend du golfe de Gênes au golfe de Valence. Son bord présentement occidental était plaqué contre l'actuel talus de la Rivière du Ponant, de la France et d'une partie de l'Espagne. Une partie de la Corse granitique faisait face au massif de l'Esterel, et le sud de la Sardaigne, avec ses terrains cristallins, cambriens et siluriens, au vieux massif catalan semblablement constitué. Au delà c'est-à-dire au sud-est, canevas actuel, s'allongeait parallèlement le segment baléare, raccord de la Cordillère bétique et des Alpes. Au delà, vers le sud-est courait parallèlement, en direction sud-ouest, une précordillère italo-sicilienne ; au delà s'esquissait, à peu près aligné comme aujourd'hui, un certain état de l'Atlas algérien et de l'Atlas saharien. Tout le faisceau était fait d'éléments parallèles en grand.

Dans la seconde phase, celle des grands arrachements, le dispositif que nous venons de restituer a subi les plus graves lésions : des fentes se sont formées qui ont taillé dans les cordillères sans beaucoup d'égards à leur réglage ; des boutonnières ont paru, bientôt élargies en de vastes espaces de sal aminci ou de sima dans lesquels de puissants remous ont aspiré vers l'est les fragments corso-sarde, baléare et italo-sicilien, disjoints les uns des autres, mais encore insérés par une de leurs extrémités, un chacun, au continent européen.

Le principal centre d'aspiration se trouvait au sud des Alpes et au sud-ouest de la chaîne dinarique, dans le sal du promontoire en train de s'amincir et surtout dans le sima sous-jacent et adjacent : c'était un remous de poupe à l'égard de l'Europe en dérive vers le nord. Avec le temps, l'aspiration s'étendait à la périphérie, concentriquement, en s'affaiblissant à mesure que croissait la distance. Les jeux ont eu, dans les trois fragments démembrés et aspirés, le caractère d'un *lâcher* incomplet, avec pivotement et conversion des branches libres autour du point d'insertion.

La branche italique a pivoté autour de son insertion au nord du golfe de Gênes ; elle a balayé tous les azimuts compris entre le sud-ouest et le sud-est en passant par le sud ; elle a pris, chemin faisant, la forte incurvation siculo-calabraise ; en queue, l'extrémité sicilienne a couvert en dérive 1000 à 1200 kilomètres de l'ouest à l'est le long de la côte algéro-tunisienne. Des trois tronçons englobés dans le remous, le fragment italique est celui qui montre le plus grand mouvement angulaire, le plus grand déplacement et la plus grande déformation : effets du site rapproché du centre aspirateur. Le tronçon corso-sarde, sortant de son alvéole, a bousculé l'extrémité du tronçon baléare, en la retroussant au sud-est dans les

parages de Minorque. Le tronçon baléare a un peu pivoté et oscillé autour de son insertion du cap de la Nao. Le tronçon corso-sarde, continuant sa conversion autour de son extrémité insérée dans le golfe de Gênes, a balayé tous les azimuts compris entre le sud-ouest et le sud. Son mouvement a été de même style que pour le fragment italique, mais moins prononcé : effet du site plus amont dans l'ensemble du remous.

Le fragment italique, en affrontant à l'est le promontoire, paraît n'y avoir plus rencontré qu'un sal déjà fort aminci, dans lequel il est entré facilement, et qu'il s'est incorporé en en grossissant sa propre masse. C'est ainsi que le promontoire africain a été réduit à des dimensions moindres que celles qui lui avaient permis, à l'époque immédiatement antérieure, de jouer pleinement le rôle offensif que nous lui avons prêté. Les jeux du fragment italique dans le sal mince se produisent donc au plus tôt pendant l'amincissement, c'est-à-dire pendant que l'Europe, dans la seconde phase, dérive vers le nord en s'éloignant de l'Afrique.

La grande offensive du promontoire, avec les offensives adjacentes à l'ouest et à l'est, répond sans doute au fort du paroxysme alpin, à une certaine tranche d'Oligocène ; la seconde phase, à un laps de temps immédiatement consécutif ; l'affaire entière a pris un temps relativement court.

Après cette grande affaire en deux phases, c'est la période des répliques du plissement alpin. Les puissants arrachements de la seconde phase ont rendu impossible, entre Europe et Afrique, toute synergie de grand style. Une foule de jeux pliants sont abolis. Mais d'autres continuent avec modération, et avec des reprises, dans le style du paroxysme sans jamais en égaler la puissance ; ce renouvellement qualitatif du style ancien demeure possible partout où subsistent, par grandes masses point trop disjointes, des articulations pliantes dues au paroxysme. Des charriages se poursuivent à la marge externe de nombre de chaînes, qui s'augmentent de très jeunes ceintures. Ailleurs des jeux entièrement nouveaux s'affirment, produit des nouvelles conditions générales ou locales. Au total, il s'en faut de beaucoup que le plissement cesse et rien n'est plus constamment pliant, ni plus compliqué dans ses jeux, que la chaîne des Alpes ou celle des Carpathes au Néogène et au Quaternaire.

Une importante dérive vers le nord, continuation probable de celle qui s'est marquée dans la seconde phase de la grande affaire, a animé l'Europe pendant le Néogène ; des épisodes inverses ont pu se produire par moments. Nous ne nous occupons pas de ses effets pliants. Parmi ses effets de traction figure le sillon transégéen, peut-être amorcé, déjà vers la fin de la grande affaire, par des jeux pliants, et que remplissent des dépôts d'âge oligocène et néogène inférieur. Des jeux distensifs semblent avoir accentué la configuration en amande de la dépression pannonique et contribué à déterminer la complication infratectonique de cette région, où prédominent, enchevêtrées avec quelques domaines négatifs, les aires de sal

aminci, de sima remonté et d'anomalie positive. D'autres tractions, dont l'effet ne se voit bien qu'après le Levantin, ont produit l'ennoyage égéen et la boutonnière de la mer Noire. Les fentes, sillons, ennoyages et boutonnières produits par ces tractions présentent, comme les plis de toute nature, des *différences de phase* entre leurs diverses parties ; tel degré de déformation qui est atteint sur un certain diamètre ne le sera qu'un peu plus tard sur un autre diamètre du même objet. C'est le sens des nuances avec lesquelles nous venons de parler du sillon transégéen et de la mer Noire. Ces nuances, nous les sous-entendons pour tout jeu pliant ou tirant, pour toute déformation, mais il est bon de les exprimer en clair quand il s'agit de pays comme les entours de la Méditerranée, où la subdivision des temps géologiques en brèves durées est poussée à un haut degré de raffinement.

L'hypothèse d'une ancienne jonction entre la Sicile et le Rif, vers Melilla, présente des difficultés stratigraphiques et tectoniques qui m'ont engagé, après examen, à la laisser de côté. Il est probable que ce qui est aujourd'hui le Rif continuait la direction de la Cordillère bétique, en bordant le sud de l'Algarve, et n'a pris sa posture actuelle, avec la boucle de Gibraltar, qu'ensuite de mouvements qui l'ont décollé de son site premier et tardivement pincé entre l'Espagne et l'Afrique en train de se rapprocher.

Disjoint de la Meseta ibérique puis ballotté par des remous, ce segment de chaîne a été peu à peu retroussé en plan et a fini par buter contre la Meseta marocaine. La rencontre a accentué le dessin de la boucle et déclenché l'avancée des nappes pré-rifaines qui se produit, d'après MM. GENTIL, LUGEON et JOLEAUD, à la fin de l'Helvétien. L'ensemble du jeu a sans doute embrassé les premiers temps néogènes ; le paroxysme helvétien en a été la conclusion, et la fermeture du détroit sud-rifain, au Tortonien, l'épilogue attardé.

La péninsule ibérique une fois libérée, du côté de l'Atlantique, de ses anciennes connexions au nord-ouest et à l'ouest, a vraisemblablement traîné dans le sillage de l'Europe en dérive vers le nord, avec quelque pivotement en direction du sud-est autour de la région pyrénéenne, et avec une tendance à raccourcir la Méditerranée occidentale, d'où certaines complications des remous qui ont joué dans ce bassin, et des modifications correspondantes du tracé des cordillères lâchées. Des changements transitoires du sens de la dérive ont pu modifier, en certains temps, le cours de ces jeux.

Notre restitution du *puzzle* de la Méditerranée occidentale entraîne celle de la tectonique immédiatement antérieure aux grandes disjonctions.

On trouve d'abord que les Pyrénées, avec leurs prolongements provençal et cantabrique, n'ont avec la Téthys que des rapports de voisinage et de synergie médiate, leur jeu étant essentiellement intérieur à la vieille Eurasie, au bloc continental. Les petits sillons embryonnaires qui paraissent



dans ce dispositif ont été assez profonds par places ; ce sont des géosynclinaux en miniature, ou des synclinaux de fond soumis à un remblayage particulièrement actif, et longtemps maintenus en état d'instabilité.

La Corse granitique, le vieux bloc sarde et le massif catalan continuent la première zone alpine (Aar-Mercantour) et la relient au bord sud de la Meseta, qui en est l'homologue le long du Guadalquivir et en Algarve. Les schistes lustrés de la Corse orientale appartiennent aux Alpes ; ce fragment jalonne le raccord, jadis à peu près rectiligne, entre la zone pennique des Alpes et les formations analogues qui paraissent dans la Cordillère bétique. La nappe supérieure de l'Apennin, avec ses séries compréhensives (nappe dite ophiolitique), n'appartient que géographiquement à cette chaîne. Tectoniquement, elle fait partie de la zone pennique des Alpes, fortement nappée dans le sens alpin originel, puis affectée d'un plissement en retour de grande amplitude, qui l'amène au repos sur le vrai Apennin, l'Apennin des séries dinariques, de la nappe de Sicile et de ses prolongements dans la péninsule. Cet Apennin-là est fait, comme l'arc dinarique, d'un segment très déformé du talus africain et de ses couvertures sédimentaires. Le plissement en retour de la nappe ophiolitique n'est que l'exagération de celui qui paraît, sur des diamètres plus septentrionaux, à l'extrême bord interne des Alpes Pennines.

Il y aurait immensément à dire sur les mouvements précurseurs, sur les jeux de la Méditerranée et de ses chaînes, ou ébauches de chaînes, avant le grand paroxysme oligocène, et sur l'art de restituer, pour chaque époque, le cadre singulièrement mouvant, incessamment déformé et sans point fixe, de la stratigraphie et de la paléogéographie. Je passe délibérément tout cela. Il me suffira de dire que le grand promontoire africain a souvent joué dans le même sens que pendant la grande offensive oligocène, avec moins d'intensité, avec des ruptures de combat même, avec mais une certaine insistance à reprendre le jeu et avec production, dans sa masse et dans ses entours, d'un style qui annonce celui de la grande affaire. Au Jurassique supérieur, à l'Eocène, de nombreux mouvements andins viennent de là ; ils s'attardent souvent jusqu'à la veille du Cénomane, comme dans les Alpes orientales qui appartiennent au promontoire lui-même, et dans les nappes gétiques où l'affaire a été chaude. Nous ne ferons que mentionner ici les mouvements antélutétiens, dont nous avons indiqué les relations complexes avec le grand plissement laramien.

L'indépendance que présentent les charriages bordiers des Alpides à l'égard des plis anté-alpins de la vieille Europe est bien connue. Or, elle est à peine moindre, chose remarquable, à l'égard des plis de fond alpins. Avec sa direction au sud-est, le groupe de plis de fond qui comprend la Bohême et les Sudètes passe sous les Carpathes tout comme les vieux plis. Plus généralement, la direction des plis de fond de la deuxième à la cinquième zone est oblique par rapport à celle des Alpides. Le robuste sal

du vieux continent a plié suivant ses lois propres, à raison des dérives variables qu'il subissait, et sans égard à la constitution plus délicate des fonds de la Téthys, avec leur sal aminci, leurs dépôts neufs, leur sima, leurs remous dictés par des lois différentes. Bien souvent des plis de fond, en s'allongeant, ont atteint normalement ou obliquement le talus du continent, mais aucun n'a pu se prolonger notablement dans le géosynclinal. Le plissement de fond, indépendant du jeu géosynclinal, a duré avant, pendant et après le paroxysme.

La crête médiane de l'Atlantique, semblable à une épave de sal ballottée et déformée dans le sima, paraît être l'héritage des temps pendant lesquels le Nouveau Monde commençait à se séparer de l'Ancien. Elle semble faite, comme on l'a dit, des restes du sal étiré au fond du sillon en forme de S le long duquel la disjonction se préparait ; de paquets de sal écroulés à partir des deux pieds-droits, avec glissement ou entraînement de quelques dépôts terrigènes ; voire de sal fondu.

Mais il y a plus, et il convient de marquer, d'une part, le rôle de certaines connexions que la crête a conservées avec l'Ancien Monde ; d'autre part la présence, dans la crête même ou à ses marges, de conformations rattachables, selon toute vraisemblance, aux zones plissées qui passaient de l'Ancien Monde au Nouveau.

Avec le temps les deux Amériques, dérivant à l'ouest, ont lâché à l'arrière la bande étirée, devenue la crête médiane, d'ailleurs très largement disjointe de l'Ancien Monde et flottant, de nos jours, au centre du sima atlantique. Cette dernière disjonction, cependant, n'est pas complète : le seuil de la Baleine, sorte de digue oblique flottant sur le sima, relie encore la crête médiane à l'Afrique du sud. La jonction, qui n'est que suggérée par de rares sondages, est démontrée par la stratification thermique de l'Océan. De tels ponts obliques, de formation également distensive, accompagnent souvent les crevasses des glaciers. Moins certaine en l'état des sondages, mais vraisemblable encore est la prolongation de la crête en Islande, d'où la jonction probable de cette crête avec l'Europe par l'intermédiaire du seuil de Wyville-Thomson. Ces connexions, et notamment la première qui est hors de doute, suffisent à rendre peu vraisemblable une autre hypothèse qu'on pourrait faire sur l'origine de la crête médiane, à savoir que cet objet soit le reste d'une ancienne loupe sous-andine complètement lâchée par les deux Amériques et qui serait remontée, en poupe, dans le sima atlantique. Cette hypothèse se concilie mal, d'ailleurs, avec la présence de certains dépôts sableux qui ont été ramenés de divers points de la crête submergée.

En se distendant, la bande destinée à devenir la crête a infligé le même traitement aux segments de plis et de chaînes qui la traversaient de l'est à l'ouest, et dont beaucoup ont dû passer, par là, de ce qui est maintenant l'Ancien Monde à ce qui est le Nouveau. Ces objets plissés, étirés suivant

leur longueur, ont des chances de subsister, plus ou moins déformés en plan par des remous passivement subis, à l'état d'englobements ou d'appendices transversaux, subtransversaux ou contournés, dans le gros de la crête médiane ou sur ses bords, à titre de franges. De telles franges distendues existent en nombre, sous forme de crêtes et de sillons dirigés d'est en ouest, dans le vaste espace encadré par les parallèles 47 et 54, les méridiens 20 et 40, suivant les tracés bathymétriques adoptés par Sir John MURRAY⁽¹⁾. Il est permis de voir dans ces larges conformations, alignées sur plus de 2200 kilomètres en direction, les restes allongés, étirés, amincis et en conséquence déprimés des plis de fond qui couraient de la Cornouaille anglaise et de l'Armorique vers Terre-Neuve, la Chaîne Taconique, les Appalaches et le Piedmont, à travers le segment aujourd'hui distendu, affaissé et lâché.

Le progrès des sondages par la nouvelle méthode acoustique, de rendement si supérieur aux anciens procédés, révélera sans doute avec plus de précision la configuration de ces objets ; il permettra de découvrir, sous d'autres latitudes, de nouvelles franges attenantes à la crête médiane et en partie attribuables au raccord transatlantique d'autres faisceaux de plis ; plus généralement, il exercera une influence décisive sur la position et sur la solution des problèmes relatifs à la tectonique submergée. En attendant, on peut dire que s'il est vain de prétendre déceler dans les grands fonds, par les vieilles méthodes de sondage, l'existence de plis étroits, il n'en est pas de même, dans les parties les mieux explorées de l'Océan, des restes étirés de nos plis de fond. La grande largeur de ces objets ne leur permet pas d'échapper au diagnostic, dès que le réseau des sondages atteint une certaine densité. La notion du plissement de fond introduit donc, dans le problème des raccords transatlantiques entre faisceaux plissés, un élément accessible au contrôle bathymétrique, ce qui n'est pas le cas des plis ordinaires.

Il sera permis, de même, de pressentir dans les bourrelets contournés des Açores, englobés dans la crête médiane, des restes étirés et déformés des chaînes neuves qui sortaient de la Méditerranée par l'intervalle entre la Meseta ibérique et la Meseta marocaine : on peut penser en première ligne à la suite de la cordillère bétique et rifaine, aujourd'hui bouclée en sens inverse, et de la cordillère italo-sicilienne, actuellement ramenée à l'est comme nous l'avons dit. Dans l'intervalle entre la crête médiane et l'Ancien Monde, d'autres épaves semblent constituer, pour autant qu'il ne s'agit pas d'excroissances volcaniques, le groupe des hauts-fonds qui s'alignent ou s'éparpillent de Madère à la péninsule ibérique, le banc de la Seine et le banc Dacia, le tréfonds de Canaries. La part qui revient

⁽¹⁾ Sir John MURRAY and Johan HJORT. *The Depths of the Ocean*. London, 1912 (map III).

en tout cela, d'un côté, à des débris de cordillères méditerranéennes entraînées à l'ouest par la crête médiane, puis lâchées et abandonnées à leur sort ; de l'autre, à des fragments quelconques lâchés par le gros de la crête, ne saurait être précisée aujourd'hui, mais la première attribution est vraisemblable pour les objets de forme allongée.

Il est prématuré d'éliminer, comme on a proposé de le faire, l'hypothèse d'un raccord entre les chaînes alpines de la Méditerranée et celles de la région des Antilles. Car s'il est vrai que l'arc des Petites Antilles dessine une jonction entre les grands faisceaux plissés de l'ouest des deux Amériques, les zones qui constituent l'île de Trinidad ne s'en échappent pas moins droit à l'est, dans la direction de la Méditerranée. Mais l'existence, à Trinidad et dans les cordillères vénézuéliennes, d'un robuste bâti d'âge andin et d'un bâti proprement alpin qui lui est superposé avec une forte discordance, introduit à l'égard des chaînes méditerranéennes, avec leurs jeux andins plus menus, une différence qu'il serait imprudent de sous-estimer.

Il n'est aucune région du *continent de Gondwana* qui n'ait joué par plis de fond pendant le cycle alpin. Il faut distinguer les plis de fond marginaux, qui ont mordu dans les bords de la Gondwanie en conservant un style relativement étroit où dominant les rayons moyens, et le plissement de fond intérieur, positif ou négatif, de style très large, de grand rayon et d'extension si générale que tout le reste du vieux continent en a été affecté.

Les plis de fond marginaux de la Gondwanie comprennent l'*Himalayan zone*, les Alpes australiennes, le gros des Andes antarctiques et des Andes sud-américaines.

Le plissement de fond de l'*Himalayan zone* a été déclenché dans le vieux sal gondwanien, en définitive, par sa rencontre avec le vieux sal angarien, l'un et l'autre s'étant influencés médiatement au travers du sal de la Téthys remanié en dépôts marins ; puis immédiatement, par le tréfonds de l'intumescence tibétaine.

Le plissement de fond des Alpes australiennes, qui a remanié de vieux plis calédoniens et hercyniens, paraît avoir été provoqué, au principal, par la résistance médiate du sima, s'exerçant au travers de bourrelets plissés qui appartiennent maintenant aux chaînes australasiennes lâchées à l'est et au nord-est — Nouvelle-Zélande et autres — mais qui étaient alors plaquées contre l'Australie, en chaînes liminaires englobant des plis de fond.

Les plissements de fond des Andes sud-américaines sont dûs, pour l'essentiel, à la résistance que le sima pacifique a opposé à la dérive vers l'ouest de la Gondwanie, et plus tard de l'Amérique du Sud, qui en a été détachée par l'ouverture de l'Atlantique. On ne peut encore dire, comme nous l'avons fait pour l'Amérique du Nord, combien de générations principales de plis de fond ont concouru à l'édification de ces Andes pendant

le cycle alpin ; les phases, à tout le moins, ont été nombreuses. Mais on peut, quant à l'âge du matériel mort réemployé, distinguer des plis de fond alpins à matériel de plis paléozoïques, qui constituent dans la République Argentine, la Bolivie et le Pérou les chaînes orientales ; et des plis de fond alpins qui forment, en une zone plus occidentale et plus longue, courant du Venezuela au Cap Horn, le gros des Andes proprement dites : le matériel mort en est fait, pour une bonne partie, de plis andins, c'est-à-dire de plis qui étaient neufs vers la fin du Jurassique ou à l'Eocène. Le tonnage neuf, postérieur au plissement andin, apparaît dans la couverture de ces plis de fond ando-alpins. On ne saurait dire, actuellement, si ce tonnage se concentre par places en des chaînes côtières entièrement neuves. Mais ce qui est certain, c'est que l'ensemble du tonnage neuf, dans l'Amérique du Sud comme dans celle du Nord, pèse peu en comparaison du tonnage ravivé.

Quant aux Antarctandes, le peu qu'on en connaît interdit d'en parler, de nos jours, autrement que par analogie générale avec les Andes sud-américaines.

Le plissement de fond de l'intérieur de la Gondwanie est d'un tonnage des plus imposants au total. Ce tonnage embrasse, les plis de couverture exceptés, toute l'Amérique du Sud extra-andine, l'Afrique moins les chaînes atlasiques, l'Arabie moins l'arc de Mascate, l'Inde péninsulaire, Madagascar, la vieille Antarctide, l'Australie moins les chaînes de l'est.

La distinction du plissement de fond positif et négatif, des effets de compression et des effets de distension ne laissant pas d'être délicate en certains parages, il convient de faire, à cet égard, des remarques dont la portée est d'ailleurs générale.

Les grandes intumescences peuvent être attribuées au plissement anticlinal de fond, par compression, avec d'autant plus d'aisance qu'elles sont mieux réglées et que leur ensemble montre une unité de plan mieux exprimée. Quand de tels objets ont subi des disjonctions suffisamment nettes, avec subsistance de tronçons à peu près congruents, la diagnose en sera plus facilitée qu'obscurcie. Mais que le réglage soit déficient ; qu'une conformation chaotique, due à des jeux maintenus au stade infantile, paraisse : la distinction à laquelle nous pensons deviendra difficile en l'état du connu. Il en sera de même quand on pourra croire que le réglage et l'unité de plan ont été oblitérés après coup, soit par de graves distensions largement distribuées, soit par des jeux isostatiques secondaires.

La même prudence s'impose, avec quelques précautions en plus, à la diagnose des larges synclinaux de fond, qui peuvent être simulés, jusqu'à un certain point, par des zones déprimées dues aux tractions. Mais quand dépressions et intumescences participent d'une même unité de plan ; quand cette unité, de plus, porte avec évidence le cachet d'une compression, d'un plissement, toute confusion sera écartée. C'est ce qui arrivera,

par exemple, quand l'unité dont nous parlons tient à une virgation de grand style ; car personne ne songera à attribuer un tel agencement d'ensemble à des jeux distensifs.

Au surplus, l'idée de synclinal de fond n'implique pas nécessairement, dans notre esprit, celle d'une flexion vers le bas. Cette flexion peut se produire à titre secondaire, sous l'influence des dépôts qu'appelle, pour ainsi parler, toute dépression encadrée de proches hauteurs ; nous sommes enclins à penser qu'elle peut se manifester originairement, pour de petits objets semi-rigides, en se limitant dans les hauts et en s'amortissant vers le bas. Mais pour de grands objets, la flexion vers le bas exigerait un si grand travail fourni à l'encontre de la poussée archimédienne, qu'il est téméraire d'y songer, le cas de surcharge secondaire excepté.

Plus généralement, le jeu des grands synclinaux de fond nous semble, quant à l'effet vertical, devoir se traduire par une ascension, mais une ascension moindre que pour les anticlinaux. Cela peut impliquer, sous les synclinaux comme sous les anticlinaux de fond, une croissance de loupes vers le bas, une augmentation de l'épaisseur du sal continental, avec une valeur moindre dans le cas des synclinaux. On peut concevoir au moins deux cas dans lesquels des dépressions d'habitus synclinal ou tabulaire, longées ou encadrées par des anticlinaux de fond, ne manifestent que peu ou pas d'effet vertical originaire. Tous deux supposent un effort de compression qui se satisfait d'une augmentation d'épaisseur à peu près limitée aux régions anticlinales, tant pour les choses visibles que pour l'infratectonique. Le premier cas, concevable pour d'étroites dépressions seulement, est celui où le fond de la dépression joue presque à la manière d'un simple organe transmetteur, cependant que les bourrelets anticlinaux croissent vers le haut et vers le bas. Le second cas, qui a des chances d'être pour un temps celui de vastes régions découvertes ou tabulaires, résulte de ce que le plissement de fond en acte, provisoirement concentré dans les régions anticlinales, n'a pas encore mordu ou a momentanément cessé de mordre au large de ces intumescences. Nous pensons d'ailleurs que ce sont des cas-limites, bons à considérer à titre d'approximation analytique, mais dont on ne saurait dire, en ce moment, s'ils sont réalisables dans toute leur précision conceptuelle. Nous passons les cas où les loupes sous-anticlinales s'extravasent en partie vers le tréfonds des dépressions voisines, et ceux où les jeux se produisent en un sal préalablement aminci ; nous laissons de côté, plus délibérément encore, les jeux secondaires de toute nature.

Ces sûretés prises, tournons-nous derechef vers les objets concrets.

Le gros de l'Afrique présente une grandiose unité de plan, celle d'une large et puissante virgation de plis de fond, qui est du premier genre et qui embrasse, en outre, l'Arabie et l'Amérique du Sud extra-andine. Les intumescences visibles, au cœur desquelles apparaissent les terrains

cristallins ; les gauchissements des couvertures déposées pendant le cycle alpin ; enfin, les pénéplaines courbées, permettent d'esquisser en première approximation, dans les limites du connu, les traits majeurs de cette *virgation intérieure de la Gondwanie*. (Fig. 6).

Une première branche de virgation, principalement anticlinale et compliquée sur le tard de plus d'un jeu distensif, embrasse l'Afrique du sud, le gros de l'Afrique orientale, l'Ethiopie et la grande intumescence des deux rives de la mer Rouge, au Soudan égyptien, en Egypte et en Arabie.

Une deuxième branche de virgation, principalement anticlinale et faite d'intumescences à distribution parfois sporadique, bien que suffisamment alignées en grand, se montre au Darfour, au Tibesti et dans les paquets qui constituent ce qu'on a appelé le Massif central saharien, où se marque, en traits un peu chaotiques ou un peu brouillés, la croissance inachevée de cette branche vers l'ouest. En suivant la seconde branche en sens inverse, vers le sud-est et le sud, on la voit se rapprocher de la première, avec laquelle elle semble soutenir d'étroits rapports à compter du 5^e parallèle nord. Plus au sud, la grande intumescence générale de l'Afrique orientale paraît comprendre, à sa marge occidentale, des éléments qui répondent à la seconde branche, le gros restant à la première. En sorte que cette intumescence peut être dite, en quelque manière, le tronc commun à la première et à la seconde branche.

Soudée à la première branche ou à ce tronc tout au sud, une troisième branche de virgation, principalement anticlinale et atteinte par les disjonctions atlantiques, longe la côte de l'Océan à travers la partie inférieure des bassins de l'Orange, du Congo et du Niger pour se continuer, infléchie en direction générale ouest, au nord du golfe de Guinée jusqu'en Sierra Leone et aux abords de Conakry. Au delà, cette branche se poursuit dans le massif guyanais qui en est l'extrémité libre, disjointe par les cassures atlantiques et emportée à l'ouest par la dérive de l'Amérique du Sud.

Une quatrième masse saillante longe la côte orientale de l'Amérique du Sud, de l'estuaire du Rio de la Plata aux environs du cap San Roque ; elle atteint au nord le Ceara. Elle présente d'étroites affinités de jeu avec la troisième branche, et il se peut qu'elle en ait fait partie, avant la disjonction, sans grand synclinal de fond intermédiaire.

Un cinquième groupe d'intumescences apparaît au centre même de l'Amérique du Sud. Bien qu'il soit impossible, de nos jours, d'en indiquer exactement les contours, les quelques traits connus laissent paraître des alignements au nord et au nord-ouest qui marquent, par rapport au paquet précédent, une divergence et une ouverture de même sens général que pour les autres branches de la virgation.

En Afrique, les branches divergentes s'ouvrent vers le nord, le nord-ouest et l'ouest, laissant à découvert, entre la première et la deuxième branche, le vaste espace graduellement élargi vers le nord qui répond

en gros au bassin du Nil et au désert libyque. La deuxième et la troisième branches, en s'écartant, ménagent de même l'espace déprimé que souligne la cuvette du Chari et du Tchad, puis, après conversion du plan à l'ouest, le gros du Soudan occidental. En suivant en sens inverse cette chaîne de dépressions tectoniques homologues, toujours sises à l'avant de la troisième branche de la virgation, on trouve d'abord, au delà du seuil Chari-Oubanghi qui répond à une exaltation axiale, la vaste cuvette du Congo avec son remplissage de grès, puis une autre culmination d'axe qui s'avère dans les parages du 12^e parallèle austral et mène à une dernière cuvette allongée du 12^e au 28^e, occupée du nord au sud par les affluents supérieurs du Zambèze, le bassin intérieur du Ngami et le Kalahari. Au delà se produit la confluence de la troisième branche avec les éléments plus antérieurs de la virgation, qu'un synclinal de fond haut perché, le plateau du Karroo, de l'Orange et du Transvaal méridional, divise en deux faisceaux de jeu principalement anticlinal. Ces vastes bassins africains constituent en l'un ou l'autre des sens indiqués, ou en plus d'un de ces sens si l'on a égard aux jeux parcellaires, de très larges synclinaux de fond ou des réserves tabulaires modérément gauchies, ce qui est la même chose en principe ainsi que nous l'avons vu. L'horizontalité des couvertures, qui prévaut par grandes étendues, n'infirme pas cette notion ; elle signifie une déformation puissante en sa tranquille ampleur.

Le gros de l'Afrique appartient donc à une virgation du premier genre dont le segment central répond approximativement à l'espace compris entre le 5^e parallèle boréal et le 25^e austral ; ce qui est plus au sud semble un commencement d'aile droite ; ce qui est plus au nord est l'essentiel d'une aile gauche largement étalée, dont certaines branches passent dans l'Amérique du Sud. La convexité du dispositif, pris dans ses traits généraux, regarde à l'est, et les ailes traînent, retardées ; d'où la notion d'un effort de compression dominant, unilatéral, plus ou moins soutenu ou repris, plus ou moins appuyé ou contrarié, suivant les temps et les lieux, par des jeux inverses ou par des jeux distensifs, mais portant, dans le centre, à l'est ; tout à droite, au sud-est et au sud ; à l'aile gauche, au nord-est et au nord ; en somme, du dedans au dehors convexe des gerbes.

Le dessin des branches de la virgation, l'Amérique du Sud étant ramenée auprès de l'Afrique, à la position d'avant la dérive, présente une conformité générale aux Andes sud-américaines, signe certain d'une synergie pliante qui a englobé les deux affaires avant la grande disjonction atlantique. Les courbes des branches africaines sont visiblement de même famille que la courbure des Andes de part et d'autre du golfe d'Arica ; cette conformité va très loin pour la troisième branche avec sa conversion du golfe de Guinée ; elle est sensible dans les rapports de la deuxième branche avec le gros de la virgation et s'affirme encore, plus effacée, dans la courbure d'ensemble de la première branche. Une poussée plastique

venue de l'ouest, à laquelle a réagi tout le tènement principal de la Gondwanie, s'est donc fait sentir à travers la masse du continent, et ses effets sur la courbure du plan se sont lentement amortis vers l'est. Pour rendre compte d'un jeu de cette ampleur, on invoquera, comme en tout plissement de fond, la déformation interne du sal et le frottement du sima basal ; à ces facteurs s'ajoutaient, avant la disjonction atlantique, la résistance du sima pacifique à l'avant de la Gondwanie en dérive vers l'ouest, c'est-à-dire à la proue de ce qui est maintenant l'Amérique du Sud. Ce dernier facteur explique non seulement la conformité générale des Andes et de la virgation, mais encore l'unité de plan qui paraît en celle-ci. C'est vainement qu'on tenterait de rendre compte, sans synergie entre les Andes et la virgation, de toutes ces homologues. Ces jeux solidaires ont comporté bien des phases, et l'existence, dans le nord de la Tanganika Territory, de mouvements andins attestés par la discordance du Mésocrétacé sur des terrains jurassiques, montre que cette synergie, loin d'être illusoire, a embrassé pour le moins toute la largeur de l'Amérique du Sud et de l'Afrique encore soudées.

Quant à l'imagerie des mouvements, et tout compte tenu des différences des plis de fond aux plis ordinaires, les rapports des éléments de virgation situés au sud de l'Amazone avec le segment guyanais de la troisième branche sont ceux de la virgation afghane à la virgation persane, mais en moins exprimé. L'allongement de ces éléments vers le nord et le nord-ouest, plus ou moins normalement à la branche guyanaise, est comme inachevé, et le vaste synclinal de fond de l'Amazone, qui court parallèlement à cette branche, en témoigne. Du même point de vue, les rapports de la troisième branche avec les Andes colombiennes et vénézuéliennes sont ceux de la virgation persane à l'arc iranien septentrional, détails réservés. L'allongement de la branche guyanaise vers l'ouest est lui aussi inachevé.

La dépression pré-andine, longue et large zone synclinale de fond, est d'abord soulignée par une partie du cours de l'Orénoque ; une alvéole passe en Patagonie et se retrouve, à un état de conservation ou de disjonction que les glaces ne permettent pas de préciser, entre la vieille Antartide et les Antartandes, des arrières de la mer de Weddell à ceux de la barrière de Ross, puis en Australie du bassin du Murray au golfe de Carpentarie. Les Alpes australiennes, en tant que plis de fond, répondent à une partie des Précordillères sud-américaines, à matériel mort paléozoïque, et les chaînes australasiennes plus extérieures, avec leurs jeux andins et leurs rejeux proprement alpins, en tonnage ravivé et en tonnage neuf, aux vraies Andes sud-américaines avec leurs rejeux. La dépression pré-andine, les plis de fond marginaux de la Gondwanie et les chaînes neuves forment ainsi une triple couronne, de largeur variable, à tout le périmètre occidental, méridional et oriental du continent, ces orientations étant rapportées, comme toujours, aux sites actuels.

Le degré d'homogénéité du gros de la Gondwanie, bien supérieur à celui de la vieille Eurasie, explique l'aisance avec laquelle, avant les disjonctions atlantiques, la grande virgation intérieure s'est développée suivant les lois du premier genre, en les imposant à la majeure partie du continent.

La disjonction sud-atlantique consommée, les jeux de la virgation ont pu être supprimés ou gravement altérés au plus près des fronts nouvellement découpés, mais il est à croire que dans l'intérieur de l'Amérique du Sud et de l'Afrique, ils ont été ranimés en plus d'une phase, les vieilles articulations ayant permis la reprise des mouvements anciens, inchangés ou peu modifiés quant au style. Il est naturel, en effet, de penser que des fragments de cette dimension demeurent aptes au plissement de fond même après leur disjonction. On s'explique ainsi, pour l'Afrique orientale notamment, la jeunesse des derniers surcroûts d'une partie des intumescences.

Aucun de ces jeux pliants n'interdit d'invoquer, avant, durant ou après le gros des disjonctions principales, autant d'effets distensifs qu'il en faudra pour expliquer, à de moindres échelles, les faits observés. Rien de tout cela ne s'oppose, par exemple, à l'hypothèse qui fait naître une partie des fossés africains, ou la mer Rouge avec le fossé jordanique et son prolongement syrien, de tractions dirigées en gros suivant les parallèles. Il suffit, pour tout concilier, de faire intervenir l'espace ou encore le temps, avec les successions et les alternances de jeux qu'il permet de ménager.

Les jeux d'axe propres à la virgation intra-gondwanienne ne peuvent être entrevus, en l'état des explorations, que dans leurs traits les plus généraux. Un ennoyage transversal, occupé par des grès du Karroo surmontés de basaltes, se marque dans la troisième branche le long de la côte africaine et dans l'intérieur, du 19^e au 21^e parallèle austral ; il se retrouve dans le Brésil méridional, semblablement constitué et en position congruente, du 28^e au 30^e environ. Ce dispositif exprime clairement la synergie, l'étroite dépendance mutuelle des jeux pliants qui animaient ce segment avant la disjonction. La cuvette du Kalahari au Haut-Zambèze et celle du Congo, synclinales en travers, le sont aussi en long, abstraction faite des conformations de détail ; l'une et l'autre sont des ombilics structuraux, que sépare une zone de culmination plus ou moins transversale répondant en gros au 12^e parallèle. Plus au nord, une nouvelle région à culminations comprend le seuil Oubanghi-Chari et le gros de l'Ouadaï, en direction nord-est. Un maître ennoyage, partiellement occupé par des dépôts crétacés et nummulitiques, court du golfe de Guinée, en direction nord-est, dans le bassin du Bénoué et vers le Tchad, au delà duquel le même jeu est souligné, entre les hauts tectoniques du Tibesti et ceux de l'Ouadaï et du Darfour, par la région tabulaire de l'Ennedi. Le Tchad, situé au point de croisement de cet ennoyage transversal

et de la dépression longitudinale qui sépare la deuxième et la troisième branche de la virgation, semble répondre à un nouvel ombilic. Un autre ennoyage transversal répond à la région du Bas-Niger ; la mer nummulitique y a pénétré, et cette porte franchie, elle s'est largement étalée au nord de la troisième branche sur une partie du Soudan. Le rôle des jeux d'axe des plis de fond, à l'égard des facilités offertes au balancement des transgressions et des régressions, n'a donc pas été inférieur à celui des dépressions d'origine distensive par lesquelles ont commencé les disjonctions, et dont la trace nous est conservée en ces étroites plaines côtières, à sédiments marins souvent hachés de fractures en gradins, qui frangent la plupart des vieux blocs issus du morcellement de la Gondwanie.

Je n'entre pas, autant qu'on le pourrait aujourd'hui, dans l'examen des conséquences stratigraphiques et morphologiques de ce vaste plissement de fond. Mais on voit assez que le cours du Nil, pour sa partie essentielle, est hérité d'un drainage conséquent sur synclinal de fond. Parmi les altérations postérieures, évidemment nombreuses, il en est de simplement épigéniques, et d'autres qui se rattachent à la continuation ou à la reprise des jeux tectoniques. C'est ainsi qu'en s'élargissant vers l'ouest, l'intumescence érythréenne ou première branche de notre virgation a rattrapé le Nil en certains endroits de son cours, et l'a contraint à divers jeux antécédents qui le font mordre dans les terrains cristallins. Le cours aval du Congo et le cours aval du Niger semblent s'être maintenus par des rajeunissements que la montée du plissement de fond de la troisième branche a provoqués, sans parvenir à les tenir en échec ; d'où morsure des vieux terrains sur plus d'un parcours. L'Amazone est encore conséquent, en gros, par rapport à son synclinal de fond. La dépression pré-andine est conséquemment soulignée, sur de grandes longueurs, par une partie du cours de l'Orénoque et par l'agencement du gros des affluents à direction méridienne du Rio de la Plata. Il est superflu d'ajouter, dans un aussi bref examen, que la dépendance où se trouvent les traits majeurs de l'hydrographie, à l'égard des conditions structurales originaires, est le plus souvent indirecte, trop d'épisodes s'étant intercalés et mainte oblitération étant survenue.

La déformation interne de la Gondwanie a donc pour trait essentiel une virgation du premier genre qui est la plus grande virgation connue.

La déformation d'un grand tènement de sal résulte d'une synergie de poussées plastiques et non d'une transmission d'efforts en milieu rigide. L'hétérogénéité des hauts détermine, en fin de compte, le gros des configurations plissées. Une mosaïque menue, compliquée et riche de sutures entre milieux de plasticité moyenne différente, comme est l'Eurasie, ne réagit pas à la manière d'un continent moins hétérogène, comme la Gondwanie. Dans le premier cas la distribution des effets, dont le principal est le plissement de fond, est d'une minutie qui est réglée par celle de la

mosaïque et comme calquée sur elle. De là le style presque toujours pressé du plissement de fond de l'Eurasie, ses rayons de courbure modérés, son bon réglage, son étroite dépendance à l'égard des sutures et la dominance, comme dans celles-ci, de la direction d'est en ouest. De là encore la distribution minutieuse, en Eurasie, des mouvements andins et autres, joués en synergie avec les grosses affaires qui bousculaient si gravement la proue du continent, à savoir le bord pacifique de l'Amérique du Nord. Les effets andins, et plus généralement les effets commandés ou amorcés, à l'origine, en synergie avec le jeu de proue, n'ont peut-être pas été plus importants en Gondwanie qu'en Eurasie, mais ils sont plus visibles et plus largement distribués, ce continent relativement homogène ne leur ayant pas fait subir une décomposition aussi avancée. Ainsi s'expliquent la forte unité de la virgation intra-gondwanienne, et ses dimensions, et son allure méridienne en grand, et la visible influence qu'elle exerce au loin sur l'arrière.

Nous laissons de côté le plissement de fond, de caractère principalement anticlinal, de grand rayon et avec cassures, qui a dû affecter le gros de l'Australie centrale et occidentale, la vieille Antarctide, Madagascar et le massif indien avant les grandes distensions qui ont séparé ces fragments du reste de la Gondwanie, et qui ont déterminé ou accentué, par étirement et fractures de traction, la condition déprimée que ces objets présentent à leur pourtour actuel, sur de grandes longueurs. Ces grandes disjonctions, effet de poupe à l'égard de la Gondwanie en dérive vers l'ouest, ont pour ainsi dire écorcé par deux fois l'arrière du continent, une première tranche comprenant le bloc australo-antarctique et une deuxième, plus intérieure, la zone indo-malgache.

La dépression dite géosynclinal de Mozambique, allongée du canal de ce nom à la mer d'Oman, est d'origine essentiellement distensive quant à ses premiers jeux discernables, qui datent du Lias entre Madagascar et l'Afrique, et quant à ses derniers jeux importants. Nous avons relevé quelques jeux andins, de nature probablement plicative, au bord de l'Afrique orientale. Bien des alternances de compression et de distension ont pu affecter cette aire au long du cycle alpin, mais il semble qu'aucun plissement neuf de très grand tonnage n'ait pris naissance dans ce géosynclinal ; la tranquillité assez générale des couvertures, en Afrique et à Madagascar comme au bord occidental de l'Inde péninsulaire, tranquillité qui n'est guère troublée que par des cassures distensives et par des flexions, le fait voir.

XXX

On peut, semble-t-il, accorder à M. WEGENER que la disposition en festons répétés, si marquée dans le bord du tènement continental d'Asie orientale, est une manière de très grand plissement en plan, dû à un effort

dirigé parallèlement à cette façade de l'Asie, qui s'en est trouvée raccourcie de 11000 à 9000 kilomètres environ. Il est probable, d'ailleurs, que quelque chose survit, sous cette ordonnance, d'une segmentation ordinaire, antérieure au raccourcissement. Quant à la cause de cette affaire, on doit surtout invoquer, je crois, le contrecoup latéral de grand serrage frontal indo-angarien. La plus grande de ces protubérances est, en effet, la plus rapprochée de l'Inde : c'est celle qui comprend l'Indochine et l'Insulinde occidentale. Sans même qu'on lui restitue les guirlandes lâchées des Philippines et de l'Insulinde orientale, étant donné le doute qu'on peut avoir sur le moment des lâchers, elle reste la plus grande de toutes. Il n'est pas possible, actuellement, d'exclure l'hypothèse de dérives parallèles à la façade orientale du continent, dérives qui auraient momentanément collaboré à la production de ce festonnement en grand.

Le raccourcissement de 2000 kilomètres éprouvé par l'Asie orientale permet de croire que la somme algébrique des translations de l'Inde et de la Terre de l'Angara a été de cet ordre de grandeur. D'autres inductions, tirées par M. WEGENER de considérations différentes, portent ce chiffre à 3000 kilomètres environ, pour la seule translation de l'Inde vers le nord-est. Les divers procédés d'estimation, y compris celui que nous indiquons, contiennent des postulats implicites que nous n'avons pas le temps de dégager ici, et qu'on ne peut actuellement accepter ou rejeter avec certitude. Mais l'accord reste bon quant à l'ordre de grandeur. Par contre, la discussion du déroulement des plis de l'espace indo-sérindien ne saurait donner lieu, de nos jours, à une estimation convenable et nous avons dit pourquoi.

Mais revenons à l'Asie orientale.

Il n'y a pas de raison, pour l'heure, de se refuser à admettre les rétractions du continent qui ont provoqué les jeux de poupe : ouverture de mers bordières, lâchers de guirlandes, remous d'arrière dans les profonds sillons à la marge de l'océan. Dans les guirlandes subsistent beaucoup de traits d'un ordre plus ancien, qui est celui des jeux de poupe, des plissements, ordre dont on ne saurait toujours dire qu'il est complètement aboli. Je ne parle pas, bien entendu, des plis qu'on voit partout ; je veux dire la grande ordonnance des arcs avec leur segmentation, leurs virgations et leurs enchaînements. On ne peut mettre le tout de cette planimétrie au compte des déformations du plan que produit le jeu de poupe ; il s'agit, pour l'essentiel, d'une survie de l'ancien plan dans le nouveau. Ce genre de survivance avec déformation est un des traits essentiels des guirlandes. Le passage au jeu de poupe semble avoir, dans la plupart des cas, augmenté la courbure des arcs, comme il a augmenté, en les obligeant à s'ouvrir, les angles d'enchaînement et de virgation.

La virgation des Alaskides, située à l'extrême limite du plan asiatique et beaucoup moins éprouvée par les jeux de poupe que celle des Philippines,

donne l'image approchée d'un état antérieur de cette dernière. A l'exception des Aléoutiennes à l'ouest du 166^e méridien occidental, tous les arcs qui composent la virgation des Alaskides sont restés d'un seul tenant ; ils se serrent graduellement à l'est, sous des angles fort aigus. Là se trouve l'aile gauche ; la virgation est du deuxième genre, avec un diamètre central qui répond, les Aléoutiennes étant ramenées au talus intérieur de la mer de Bering, au 167^e méridien ouest. Les Philippines montrent, avec un tonnage visible essentiellement neuf, une disjonction très poussée de la virgation, qui est aussi du deuxième genre ; la convergence si brusque des branches, à l'approche de Luçon, ne peut être mise tout entière au compte du jeu de poupe primitif. En resserrant le tout, on retrouve de très près le plan de la virgation des Alaskides, avec ses angles aigus et son dispositif étroit.

Ces deux virgations ont été provoquées originairement par la résistance oblique du sima aux deux ailes gauches, en jeux de poupe. Les rapports originaires des Kouriles avec Hokkaidô et des Ryûkyû avec Kyûshû semblent dûs à un échelonnement très aigu entre branches de virgation de deuxième genre, plutôt qu'à des enchaînements propres. Les jeux de poupe ont augmenté l'ouverture des angles.

L'imagerie fixiste peut assurément rendre compte de ces particularités en jouant de variations segmentaires de la puissance, et de la résistance du fond pacifique. Mais les théories fixistes se concilient mal, nous l'avons vu, avec ce que révèlent, à l'échelle supérieure, les fluctuations les plus générales du tonnage circumpacifique.

Le Japon sud-occidental, avec ses étroites bandes mésozoïques souvent plissées vers le Pacifique et pincées entre de grands plis de fond ou bousculées par eux, montre plus de tonnage ravivé que de tonnage neuf.

Du côté de la mer du Japon, la grande île de Honshû a des dépôts tertiaires parfois affectés de plissements en retour, avec déversements au nord-ouest ou à l'ouest. L'apparente inversion du sens de poussée peut s'expliquer, sans changer le sens général du jeu de poupe, en admettant un déplacement du maximum d'effort vers le bas, au cours des temps. On peut aussi songer au jeu de poupe.

Il est à croire, en général, que le jeu de poupe, en obligeant une guirlande à accentuer la courbure de son plan, peut y faire naître des plis de diverses espèces et notamment, au côté interne qui travaille à la compression, de vrais plis transversaux, tandis que des effets de traction apparaissent au côté externe.

Les grands plis de fond du Honshû septentrional et de Hokkaidô — Abukuma, Kitakami, Hidaka — montrent une disposition en coulisses obliques, avec des décallements importants dans le sens longitudinal. Cet arrangement, qui s'avère aussi à Sakhaline dans des éléments plissés de diverse nature, paraît résulter d'une traction en long que le continent

exerce du nord sur la guirlande, conformément au jeu de poupe. L'imagerie fixiste peut y chercher l'amorce d'une virgation du deuxième genre, avec échelons, et s'en tenir là. L'imagerie mobiliste peut regarder les deux vues comme vraies, en admettant une succession ou une alternance des jeux de proue et de poupe.

Devant nous s'étend à perte de vue l'Océan Pacifique. Les quelques clartés que nous en avons tirées, en jouant des moyennes statistiques et de la loi des grands nombres, ne doivent pas nous faire perdre le sens des mystères qui gisent encore, indénombrés, sous ses flots profonds.

XXXI

L'idée de *plissement encadré*, dont l'étincelle première est fort ancienne et qui est devenue, dans les arrangements de SUSS, une des fines pointes de son œuvre et un des sommets de la tectonique classique, nous amène à un dernier tour.

Je me propose de montrer que l'idée de plissement encadré est capable d'une généralité telle que la théorie mobiliste elle-même, par ses postulats fondamentaux et en dépit de quelques apparences subversives, y rentre comme cas particulier.

La matière encadrante, par ses degrés de consistance, et la forme des cadres, par sa distribution dans l'espace, mesurent les degrés de liberté ou de contrainte qui s'avèrent en tout plissement. En interaction avec la puissance tangentielle et avec les degrés de consistance de la matière encadrée, les mêmes facteurs déterminent le jeu total des effets de traction et des plis de toute espèce, en volume et dans le temps.

Voilà, ramassé en quelques mots, l'énoncé de cette généralisation. Voici maintenant les étapes qui y conduisent.

A l'échelle inférieure, on a le plissement de couverture, dont le cadre est fait des éminences du voisinage : plis de fond, voussoirs et même chaînes neuves.

A l'échelle moyenne, ce sont les plissements de géosynclinaux, dont le cadre est dessiné par des serres continentales avec leurs talus, et plus loin par le socle avec ses plis de fond, souvent travaillés en voussoirs.

A l'échelle supérieure joue le plissement de fond, qui remplit toute la masse continentale et dont le cadre, si la vue mobiliste est vraie, n'est autre que le sima. ⁽¹⁾

⁽¹⁾ Si l'on rejette, contrairement aux apparences, l'idée d'une différence de nature entre les fonds océaniques et les masses continentales, la notion de cadre ou de masse encadrée n'en demeure pas moins attachée, à cette échelle supérieure, aux fonds en question. Il en va de même si on rejette le mobilisme.

En tout état de cause, aucun fait connu n'oblige à dénier à ces fonds l'aptitude à plier.

A chaque agrandissement de l'échelle, ces manifestations du plissement encadré gagnent en étendue, en profondeur, et par conséquent en tonnage. Le plissement de couverture n'intéresse qu'une mince pellicule de sédiments ou de roches effusives et ne saurait, en mettant les choses au mieux, descendre au-dessous de la grande discordance basale. Le plissement géosynclinal, en son principe, a une *plongée* inférieure à celle du plissement de fond, puisqu'il débute, à l'ordinaire, en un sal aminci. Le plissement de fond, en rangeant sous ce vocable toute la déformation du sal qui aboutit à la production des plis de fond visibles, a la plus grande plongée possible, puisqu'il joue dans toute la hauteur du sal qui est, avec de nombreuses et importantes variations, de l'ordre de 120 kilomètres.

Les plissements que nous connaissons s'ordonnent donc, dans l'espace, en des cadres emboîtés auxquels il serait vain, d'ailleurs, de donner partout des limites trop précises.

Les hypothèses particulières au mobilisme et qui font de cette conception, en son essence, une des espèces du plissement encadré, appartiennent à la première mise de fonds de cette théorie et portent sur la nature du milieu qui encadre le sal en voie de plissement. Elles impliquent la conception d'un cadre de sima qui tantôt cède et permet les plus grandes excursions de l'objet encadré, tantôt fait tête comme un cadre ordinaire en provoquant le plissement du sal, tantôt, et plus souvent peut-être, admet de délicats compromis entre les deux jeux.

Le mobilisme originaire, malgré les quelques destructions, somme toute limitées, qu'il apporte, n'est donc ni la révolution violente, ni la catastrophe intellectuelle que d'aucuns semblent redouter. Il est éminemment positif et constructeur. Il a bâti, plus peut-être qu'il ne s'en est douté, sur l'ancienne assise. Nous ne saurons jamais comment les grands fondateurs, un ELIE de BEAUMONT, un LYELL, un JAMES HALL, un SUSS, un MARCEL BERTRAND, ces âmes naturellement tectoniques que nous ne pouvons évoquer sans un sentiment de vive gratitude envers le passé, l'eussent accueilli. Mais nous savons que MARCEL BERTRAND, en ses audaces dernières, l'a côtoyé et peut-être deviné. Ils l'eussent, bien certainement, sondé à toutes les profondeurs, en dégageant son point d'attache avec la tectonique qu'ils créaient.

Les fines nuances qui paraissent dans les hauts du vieux sal, compartimenté en larges zones d'inégale plasticité moyenne, se traduisent par des reviviscences qui vérifient, elles aussi, la notion de plissement encadré, en

Le mobilisme supposé vrai, rien ne permet de dire, pour l'heure, si le cadre, dans les hauts solides du sima, peut prendre des plis ou non. La question demeure ouverte. Dans l'affirmative, le point serait de savoir combien de temps de tels plis pourraient se maintenir. Comme cela dépendrait de la consistance de ce milieu et de celle du sima sous-jacent, c'est-à-dire de facteurs qui échappent presque complètement à nos prises, nous pouvons passer sans plus. (Note ajoutée pendant l'impression.)

un ordre de grandeur qui établit la liaison entre l'échelle moyenne et l'échelle supérieure.

La production des loupes profondes tend à égaliser la plongée moyenne des chaînes géosynclinales et celle des anticlinaux de fond. Le plissement de fond peut d'ailleurs affecter un sal aminci, mais ce cas n'est que particulier. Les chaînes liminaires, comme l'ensemble des plis de fond, ont pour cadre le sima, couvert ou non, suivant les lieux, des restes d'un sal aminci. Leur échelle est la même que celle des chaînes géosynclinales.

Si le mobilisme d'origine se ramène aisément, dans l'ordre des idées, à un cas particulier du plissement encadré, il en est de même, à plus forte raison, de ce mobilisme dont nous avons présenté l'esquisse en le lestant de toute la tectonique concrète. En passant à cette opération délicate, nous avons repoussé, après examen, toutes les suggestions du vague éclectisme qui eût pu chercher à concilier, dans le demi-jour de combinaisons sans force, ou dans les jeux de bascule d'un scepticisme délicieux, des termes inconciliables. Ces petites habiletés n'ont encore rien fondé, en quelque ordre que ce soit. Nous avons, plus simplement, cherché à dresser en pleine clarté la carte du compatible, et il s'est trouvé que le domaine était encore bien vaste.

Avec le mobilisme originaire, une tectonique s'est levée, qui ne diffère point tant de l'ancienne, mais qui a pour elle son élan de départ, sa vigueur immanente. Dans le mobilisme lesté, elle s'agrandit de toute la puissance vraie de l'ancienne tectonique et peut affronter, toutes forces réunies, l'épreuve des faits connus, en même temps qu'elle ouvre, dans l'inconnu d'hier, de longues et fructueuses percées.

Mais le mobilisme, s'il est vrai, occupe dans l'ordre des dimensions, des forces et des réalisations, une tout autre place que dans l'ordre abstrait. Il a la commande des distributions énergétiques, à l'échelle supérieure et à toutes les échelles.

Nous ne savons presque rien des forces qui déterminent les dérives, mais il convient d'admettre, avec un transport passif du sal par les courants du sima, des mouvements propres du premier par rapport au second. Nous avons dit comment il est permis de se représenter, au moins qualitativement, la puissante commande du plissement de fond et des grands effets de traction. De la commande du plissement de fond dépend à peu près tout le reste. Les chaînes géosynclinales entretiennent leur jeu par un prélèvement frontal, que défraie l'énergie du bloc continental avec lequel elles font corps au moins par le bas. Il s'y adjoint un prélèvement basal sur l'énergie que convoie le sima. Les chaînes géosynclinales, en s'appliquant de mieux en mieux au gros du bloc continental, lui restituent dans les hauts, à la marge des serres, une petite fraction de l'énergie qui les anime, et cette fraction se consomme en plis de fond de tonnage modéré, quand elle ne s'épuise pas simplement en jeux cassants. Le faible prélèvement

nécessaire au jeu des plis de couverture se fait tantôt directement sur l'énergie du plissement de fond, tantôt sur l'énergie transmise horizontalement, au travers de pans plus ou moins larges de la couverture, par les chaînes géosynclinales.

L'énergie se distribue ainsi, aux échelles supérieures, par coulées massives qui se divisent, aux échelles inférieures, en fleuves et en ruisseaux de plus en plus ténus. Ces métaphores visuelles n'explicitent pas, bien entendu, une théorie physique de la distribution d'énergie. Mais les visions justes se passent au besoin de lest théorique, tandis que les théories ne sauraient se passer d'une vision juste au départ.

Nous passons les distributions d'énergie afférentes aux objets infratectoniques.

Il va de soi que si l'énergie de translation est la grande affaire, personne ne songera à contester la part d'autres sources fort nombreuses dont nous ne faisons pas l'inventaire. La pesanteur, sous mille formes directes ou indirectes, joue un rôle capital en ces milieux déformables, inaptés à supporter leur propre poids dès que la colonne de matière est un peu haute. Il est superflu de rappeler tous les jeux attribués à l'isostasie. La poussée latérale dérivée du rempli, de l'accumulation des dépôts dans un sillon qui fléchit, peut intervenir jusqu'à un certain point dans le jeu de plissements de couverture un peu épais, comme elle intervient dans des géosynclinaux débutants et point trop larges. Les changements de volume dus à la recristallisation, et ceux qu'entraîne l'évolution des magmas profonds, ne peuvent guère être estimés de nos jours, mais il y aurait danger à les sous-estimer. Si la théorie de la contraction passe pour inconciliable avec le mobilisme, il n'en n'est pas de même de la contraction, si elle a lieu. Mais comme on l'a relevé, personne ne saurait dire si, en ce moment, la Terre se réchauffe ou se refroidit.

On ne dira jamais assez tout ce que notre science doit à la féconde notion de *rempli*, ce point culminant de la pensée d'Elie de BEAUMONT, en lequel tiennent, exprimées en clair ou contenues à un état d'extrême implication, la plupart des idées dont la tectonique a longtemps vécu et dont elle vivra toujours, pourvu que l'emploi en soit finement réglé : l'idée de plissement encadré, l'idée de géosynclinal, l'idée de chaîne double et de double déversement, les idées de déversement unilatéral, d'avant-fosse véritable et d'avant-pays. Ceux-là même qui l'ont combattue lui doivent le plus. N'est-ce pas en éliminant de la notion de rempli ce qu'elle avait admis, sur le tard, de géométrisme rigide, d'ossification un peu dure, qu'on en a dégagé toute la vive substance ? A ce jeu, la tectonique fixiste a gagné un nouveau demi-siècle de grandeur et le plus riche épanouissement. Mais il semble bien, de nos jours, qu'elle cherche à échapper, sans y parvenir, aux difficultés qu'elle soulève. Quand la vue mobiliste n'aurait servi qu'à ouvrir d'autres horizons et à provoquer de nouveaux contrôles, elle aurait fourni une

belle carrière. Elle répond, à tout le moins, à une des exigences de notre temps. Allégée de quelques accessoires que nous n'avons pas tous mentionnés, et que peu de géologues seraient disposés à admettre, elle relie convenablement l'ensemble des faits anciennement connus et de ceux que nous avons mis en évidence. Nous n'avons pas la simplicité de dire qu'elle soit seule à en rendre compte : c'est que nous entendons, jusqu'en ces aperçus derniers, maintenir le primat de la tectonique concrète et conserver la nuance qui la distingue des théories de toute espèce.

Quant à notre vue du plissement encadré à toutes les échelles, elle nous semble approcher, autant qu'il se peut aujourd'hui, de cette aperception du mouvement déformateur total dont nous parlions au début. Transposée en notion et déployée en idées, elle pénètre fort avant dans le fond commun aux théories les plus diverses, et se montre particulièrement propre à coordonner leurs éléments compatibles. Et cette vue, parce qu'elle n'est pas, en son fond initial, une théorie ou un extrait de théories, parce qu'elle dépasse les formes actuellement connues du mobilisme et du fixisme, n'est liée nécessairement à aucune d'elles. C'est un point qu'il convient de marquer. Elle est indépendante des théories avec lesquelles elle peut momentanément soutenir des rapports. Elle ne saurait les accueillir toutes, ni chacune en son entier. Cette extrême laxité ne serait que faiblesse du jugement. Mais il lui est loisible de n'attacher aux théories que la signification d'hypothèses de travail, de les balancer les unes par les autres, de les amener au contact utile et par là même, de tempérer leurs excès, de rejeter leurs parties mortes et d'assembler leurs éléments durables. Par sa grande souplesse et par la richesse presque illimitée de son imagerie, elle a des chances de durer à la condition de conserver, en ses élaborations ultérieures, son allure de pensée vive et jaillissante, et d'être préservée de toute induration systématique.

Une conception qui fait régner, à toutes les échelles, la notion de plissement encadré, avec tout ce qu'elle implique de tours innombrables et qui se suspend, à l'échelle planétaire, au même principe premier, commun à la tectonique classique et au mobilisme, peut encore sembler schématique. Mais à lui restituer tout ce que nous voyons des jeux incessants qui ont animé l'orbe terrestre, on aura peine à la croire si dépouillée en sa pureté. Par la forme très condensée sous laquelle elle fait tenir, en sa texture légère, tout un monde de mouvements ordonnés, elle est claire et commode : c'est le moins que nous demandions de lui reconnaître.

Tels sont, m'a-t-il paru, quelques-uns des possibles arrangements d'idées, et telles les visions qui s'offrent. J'en ai parlé en m'efforçant d'équilibrer celles-ci par ceux-là ; en tâchant d'éviter, comme il convient à une attitude de travail, les extrémités d'un dogmatisme candide et d'un scepticisme impuissant ; en gardant, tout au fond de moi, un certain détachement à l'égard du sort des théories, ou pour mieux dire, à l'égard de leur élément périssable.

L'univers s'écoule, emportant les voies lactées et les mondes, les Gondwanies et les Eurasies, les visions inconsistantes et les systèmes trop gros. Mais les bons édifices d'idées, ces *serena templa* de l'intelligence auxquels ont travaillé quelques maîtres, ne périssent jamais tout entiers. Ils sont le grand legs du passé. Ils durent sous des formes de plus en plus harmonieuses, et tout bien vu, ils ne cessent de grandir. Ils confortent par le grand art qui en est inséparable. Leur pérennité se fonde dans l'immortelle poésie du vrai, de ce vrai qui nous est donné en parcelles infimes, annonciatrices d'un ordre dont la majesté domine le temps.

Que dirai-je ? Nous avons interrogé toute l'Asie : elle n'a pas été trop avare de ses dons ; elle nous a parlé d'autres terres, et il en est peu qu'elle ne nous ait aidés à mieux voir. Nous sommes venus, au terme, sur ces îles japonaises noblement incurvées et comme penchées sur le secret des flots. Reposons-nous en ces terres bien faites, où chaque matin le soleil levant vient éclairer l'Eurasie. Le Fuji dans l'aurore annonce la gloire du jour. Du fond de l'immensité bleue, les vagues accourent, déferlent et grondent : elles disent la belle fugacité des apparences, le balancement mesuré des choses. Sous nos pieds, des vagues moins agiles se pressent dans la profondeur noire. Loin à l'arrière, jusqu'au cœur du continent, d'autres et d'autres vagues encore, épuisées par le temps, figées dans la splendide torpeur des vieilles chaînes, sont ranimées au prix d'efforts immenses par les lourdes vagues de fond. C'est ainsi qu'ondulent, au cours des âges, les voiles qui cachent le vieux cœur du monde. Elles passent, les vagues, et toutes ensemble content, comme dans les vieux rêves de l'Asie, l'évanescence de l'univers. Que de fois le soleil a lui, que de fois le vent a gémì sur les toundras désolées, sur la morne étendue des taïgas sibériennes, sur les déserts fauves où resplendit le sel de la terre, sur les hautes cimes casquées d'argent, sur les jungles frémissantes, sur les forêts houleuses des tropiques ! Jour après jour, en des temps sans nombre, le spectacle a changé en traits imperceptibles. Sourions à l'illusion d'éternité qui paraît en ces choses, et pendant que passent tant d'aspects transitoires, écoutons l'hymne antique, ce chant prodigieux des mers qui a salué tant de chaînes montant à la lumière.



FIGURES

Figures 1 à 4. — Virgations.

(voir le texte, pages 207 à 212).

Figure 1. — Virgation du premier genre, simple.

Figure 2. — Virgation du premier genre, double.

Figure 3. — Virgation du deuxième genre, simple.

Figure 4. — Virgation du deuxième genre, double.

La projection horizontale des filets d'écoulement est donnée par les traits interrompus. L'emploi de traits interrompus, pour ces filets qu'on doit évidemment se représenter continus, a été dicté par la nécessité de ne pas surcharger le dessin. Les flèches liées à ces traits indiquent le sens de l'écoulement.

La densité du figuré des lignes d'écoulement, dans le segment central des virgations du premier genre, fait sentir que le gros de l'afflux et le gros de l'énergie de déformation sont concentrés dans ce segment. La décroissance graduelle de ces facteurs, à l'aile ou aux ailes, est rendue sensible par la divergence des filets et par la moindre densité du figuré.

Sur la fig. 2 et sur la fig. 4, le diamètre central de la virgation, ou fil de l'écoulement le plus aisé et le plus rapide, est donné par la ligne en traits et points.

Les segments d'obstacle dont le bord détermine les virgations du deuxième genre sont couverts de hachures obliques (fig. 3 et 4). La direction des efforts qui étirent, suivant leur longueur, les ailes de ces virgations, est donnée par des traits pleins auxquels sont liées des flèches indiquant le sens de cet écoulement subordonné au jeu principal.

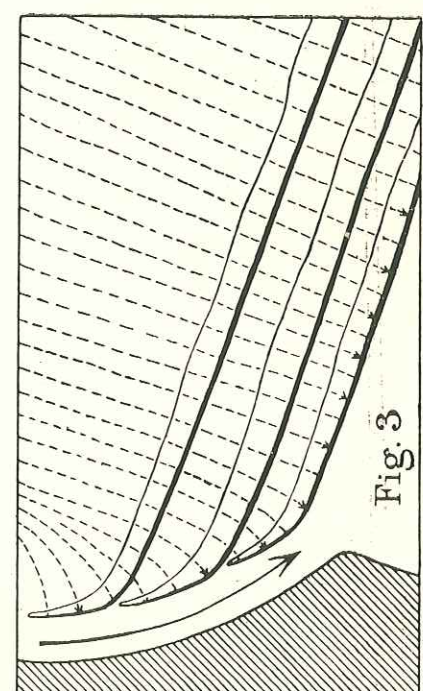
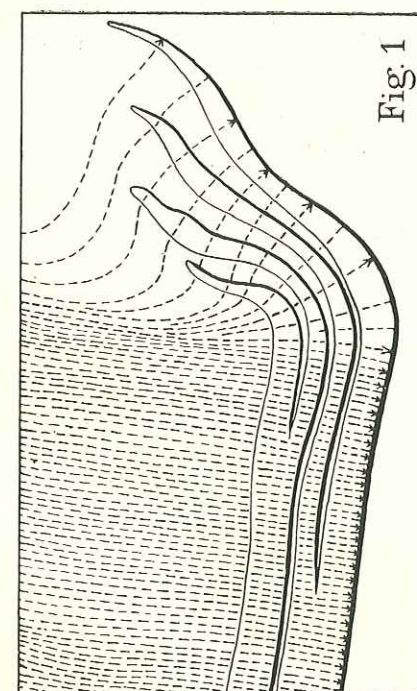
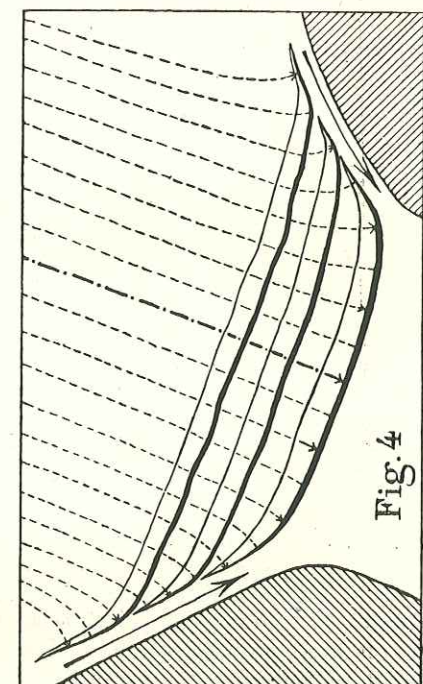
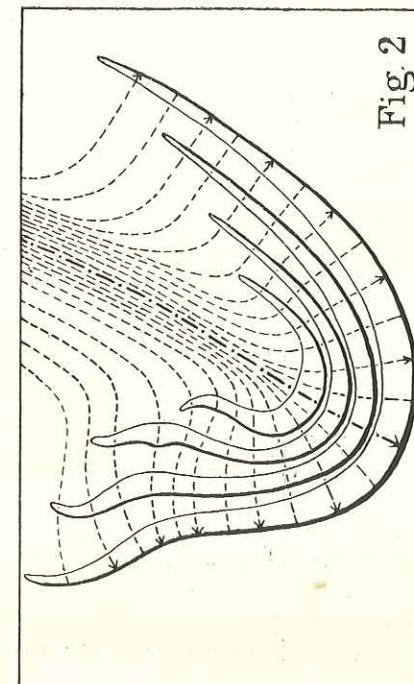


Figure 5. — Plis de fond.
(voir le texte, pages 215 à 222).

A, anticlinal de fond, *B*, plis de fond avec cassures en long.
C, *D*, *E*, passage des plis de fond à l'état de nappes cassantes.
En *C*, renflement préliminaire (*b*) et charriage latent (*c*).
F F, complexe de plis de fond et de plis de couverture.
G G, reviviscences par plis de fond. Eventail de plis de fond, à double déversement et nappes cassantes.
a, cassures et voussoirs de plis de fond. *b'*, renflements préliminaires conservés à l'état charrié, avec déformation. *d*, couverture de plis de fond, entraînée dans les nappes charriées. *e*, plis de couverture. *f*, matériel mort très ancien (avant-pays reviviscent), provoquant des reviviscences par plis de fond dans *g*, matériel mort moins ancien et moins figé. Les batholites granitiques ont été laissés en blanc.

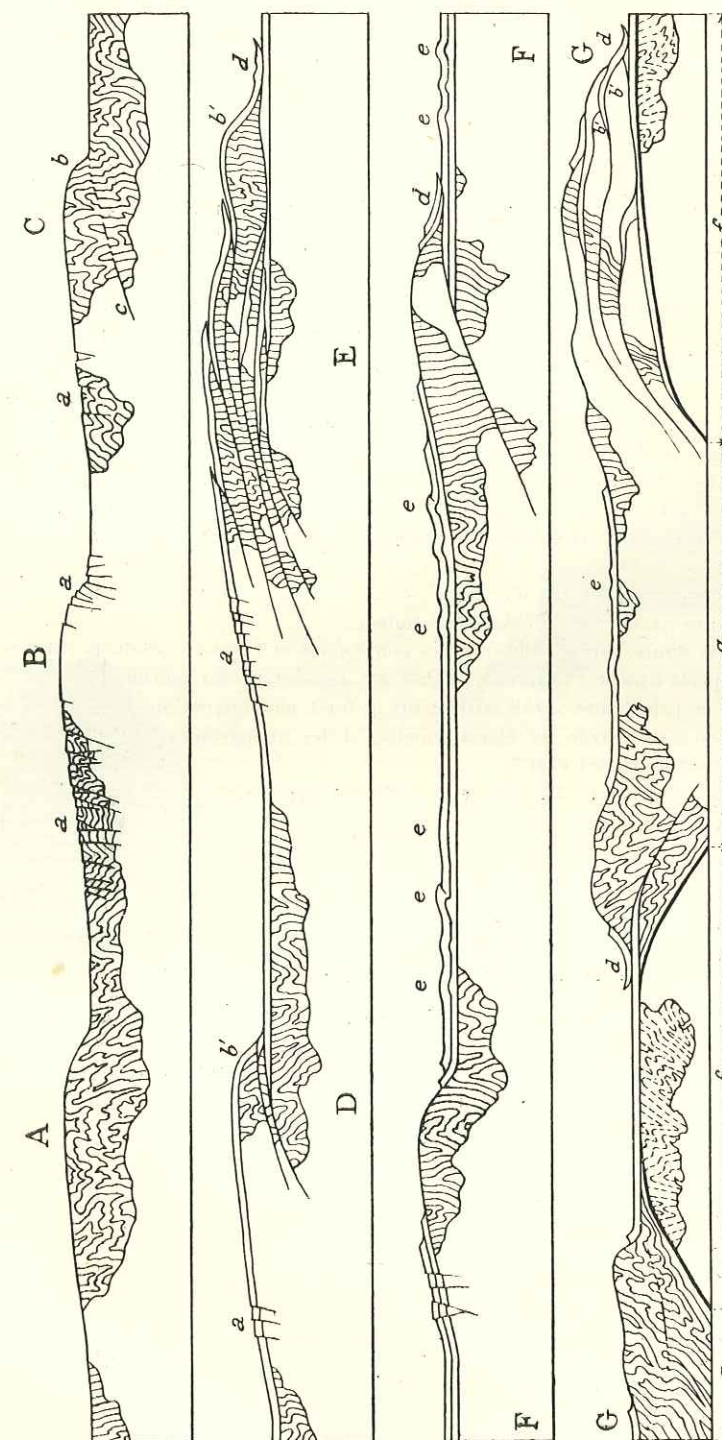


Fig. 5

Figure 6. — Les plis de fond du continent de Gondwana.

(voir le texte, pages 313 à 321).

Echelle 1 : 120000000^e. — 1, sima dominant. — 2, aires dans lesquelles prédomine le plissement anticlinal de fond. Le tonnage neuf n'a pas été séparé du tonnage ravivé. Il est entièrement négligeable, à cette échelle, dans la virgation intérieure de la Gondwanie où il ne comprend que les couvertures déformées des plis de fond et les plis de couverture proprement dits. Il atteint à quelque importance dans les plissements marginaux du continent, des Andes sud-américaines à la Nouvelle-Zélande, tout en demeurant fort inférieur, dans cet ensemble périphérique, au tonnage des plis de fond. — 3, culminations d'axe des plis de fond. — 4, ennoyages d'axe des plis de fond. — 5, raccords.

I, II, III, première, deuxième et troisième branches de la virgation intérieure de la Gondwanie.

a, b, c, promontoires que la Gondwanie tournait vers la Téthys : a, promontoire africain ; b, promontoire arabe ; c, promontoire indien.

Bien que la figure, afin de marquer les connexions et raccords originels entre plis de fond, se rapporte à un état antérieur au gros des disjonctions du continent de Gondwana, on a indiqué les principales aires à anticlinaux de fond, par convention, dans leur extension présente, c'est-à-dire avec les élargissements et les allongements qu'elles ont acquis après la réalisation de cet état.

Les rivages actuels ne sont donnés qu'à titre de repères.

Figure 7. — Dérives asiatiques très anciennes.

(voir le texte, pages 250 et 251).

Cartouches a, b, c, trois états rangés dans l'ordre descendant des temps. — 1, massif sibérien. — 2, massif sinien. — 3, massif sérindien.

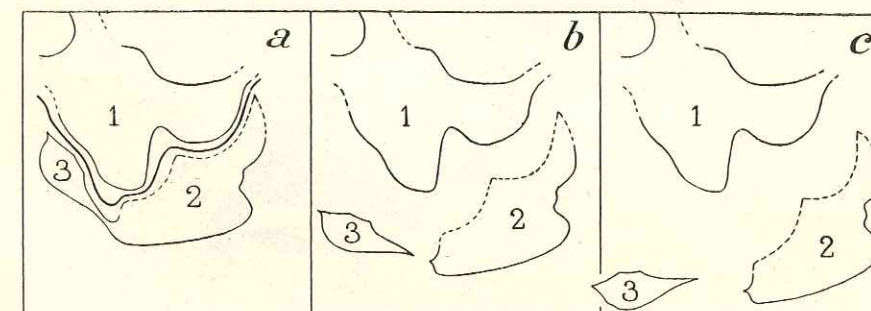
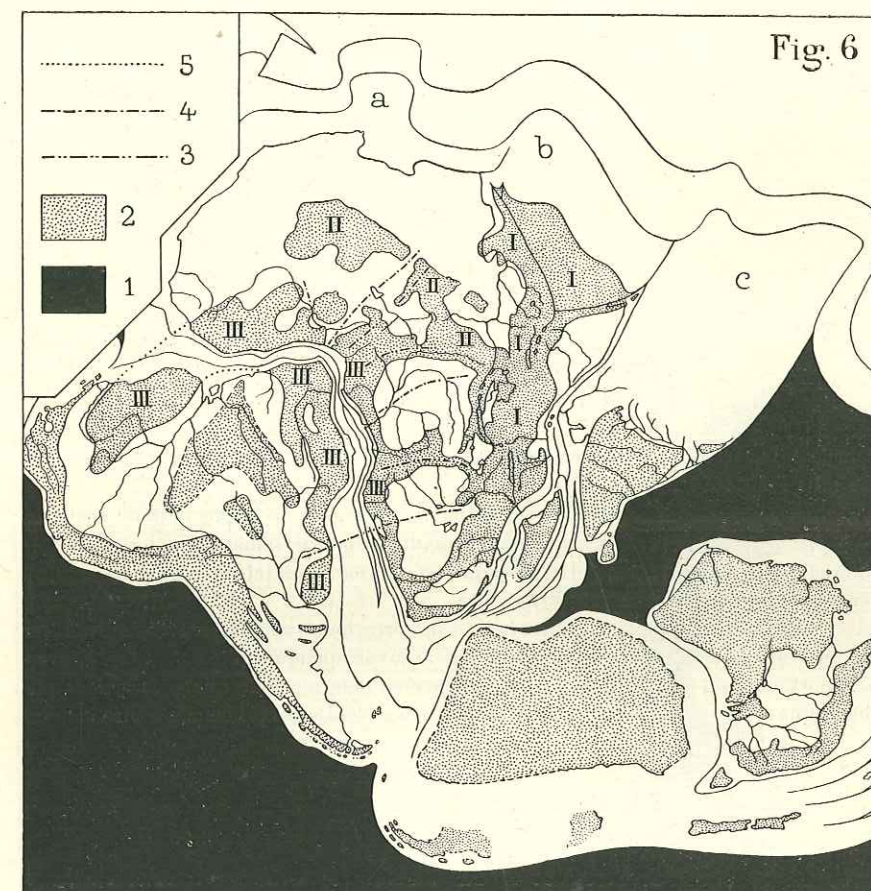


Fig. 7

Figure 8. — Carte tectonique schématique de l'Eurasie.

Echelle de la carte principale : 1 : 60000000^e. Echelle du cartouche donnant le sud-est de l'Asie : 1 : 120000000^e.

1, chaînes géosynclinales et chaînes liminaires du cycle alpin, avec plis de fond enclavés.
2 à 6, plis de fond alpins : à matériel hercynien (2) ; à matériel d'âge hercynien inféré (3) ; à matériel calédonien (4) ; à matériel précambrien, et vieilles plateformes en général (5) ; à matériel anté-alpin en général (6).

On a rendu par le noir plein (1), outre la zone des principales chaînes neuves, une minime partie du tonnage neuf extérieur à cette zone, à savoir quelques plissements de couverture importants, du cycle alpin, et les couvertures déformées de quelques grands plis de fond alpins (Caucase, Pyrénées, etc.). A part ces exceptions très localisées, les couvertures sont supposées enlevées.

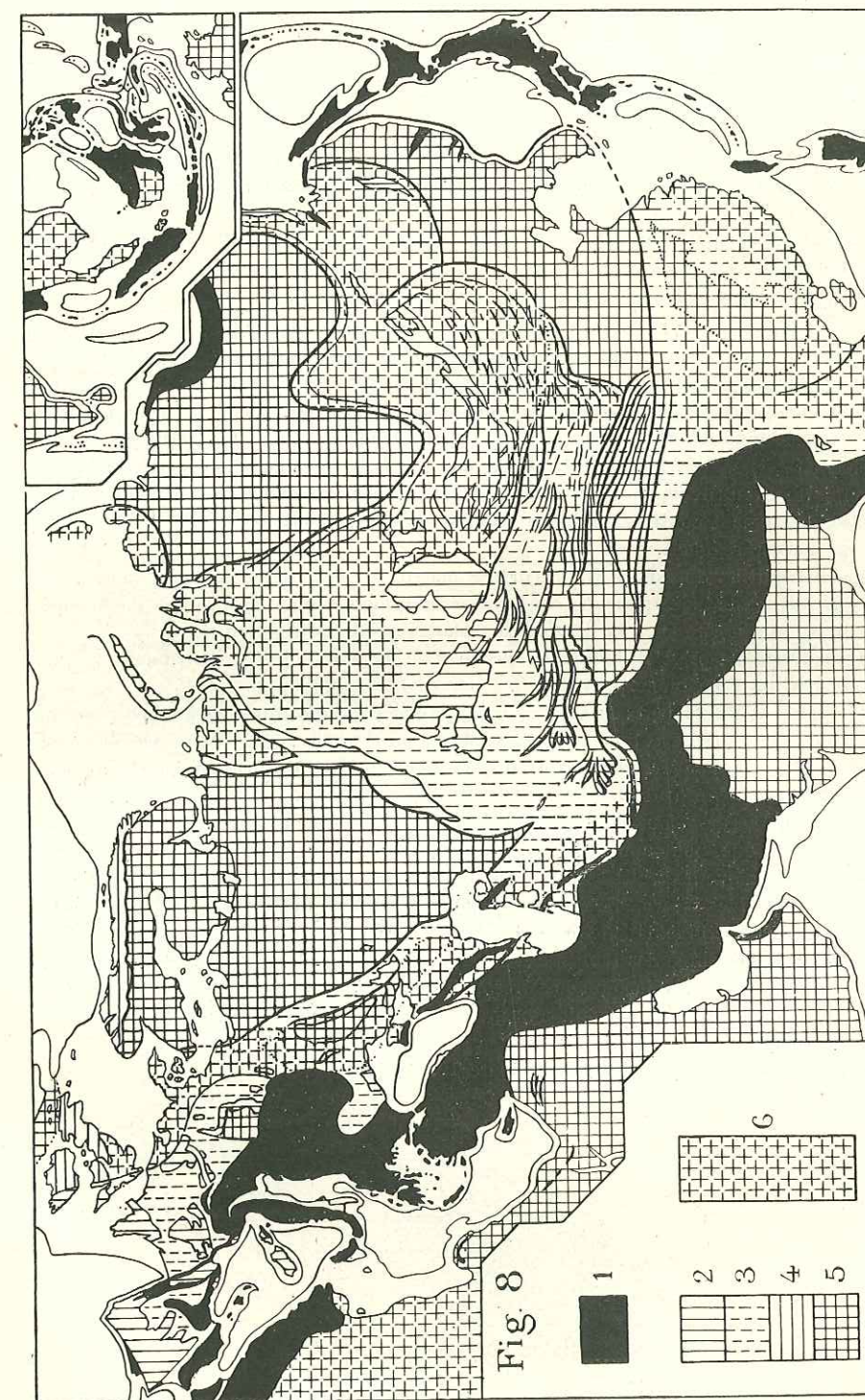


Figure 9. — Le régime de déformation de l'Asie pendant le cycle alpin.

Echelle de la carte principale et des deux cartouches qui donnent l'Asie septentrionale:
1 : 45000000^e.

a, b, c, raccords des deux cartouches et de la carte principale.

Les traits interrompus donnent la projection horizontale des filets d'écoulement pour les étages du flux dans lesquels se prononce la commande des plissements visibles.

d, diamètres singuliers. 3, diamètre central du segment touranien et de la virgation touranienne. 4, terminateur occidental du segment de l'Asie centrale. 5, diamètre commun au segment indo-sibérien et au segment indo-mongol. 6, terminateur oriental du segment de l'Asie centrale. 7, diamètre Lena-boucle des Patom-Mandchourie du nord-ouest. Le flux du Grand Khingan, au voisinage d'une partie de ce diamètre, tend à surmonter le flux du segment contigu à l'est, le segment aldanique-amourien. 8, diamètre central de ce dernier segment.

La distribution du flux à l'intérieur des massifs les plus figés n'est pas figurée. Ces massifs restent en blanc pour des convenances graphiques, mais il va de soi que la supériorité de leur résistance à la déformation plastique est toute relative.

Le centre de la dépression de Sibérie Occidentale, à partir duquel se distribuent des flux divergents, reste en blanc pour d'autres convenances graphiques.

Le régime d'écoulement n'étant pas indépendant du temps, un figuré de ce genre ne peut convenir, en rigueur, qu'à un instant. Mais pour la vieille Asie, dont tous les éléments sont soudés avant l'ouverture du cycle alpin et fonctionnent ensuite en un jeu étroitement synergique, le figuré peut être regardé, en pratique, comme convenant à toute la durée du cycle alpin. Quant aux chaînes issues de la Téthys, le figuré des filets d'écoulement vaut, en pratique, pour une durée qui commence à un certain moment des paroxysmes tertiaires, alors que les traits essentiels de l'affrontement des deux serres et du dispositif des chaînes neuves intermédiaires sont acquis sans trop de différence avec l'état actuel. Cette durée se continue dans le présent.

Pour la longue durée des temps précurseurs, la distribution du flux, réglée, en temps de compression, par le concours de serres moins rapprochées, était analogue dans les très grandes lignes et différente quant aux grands détails ; elle se modifiait, bien entendu, avec le temps.

Voir, en outre, l'explication de la figure 12.

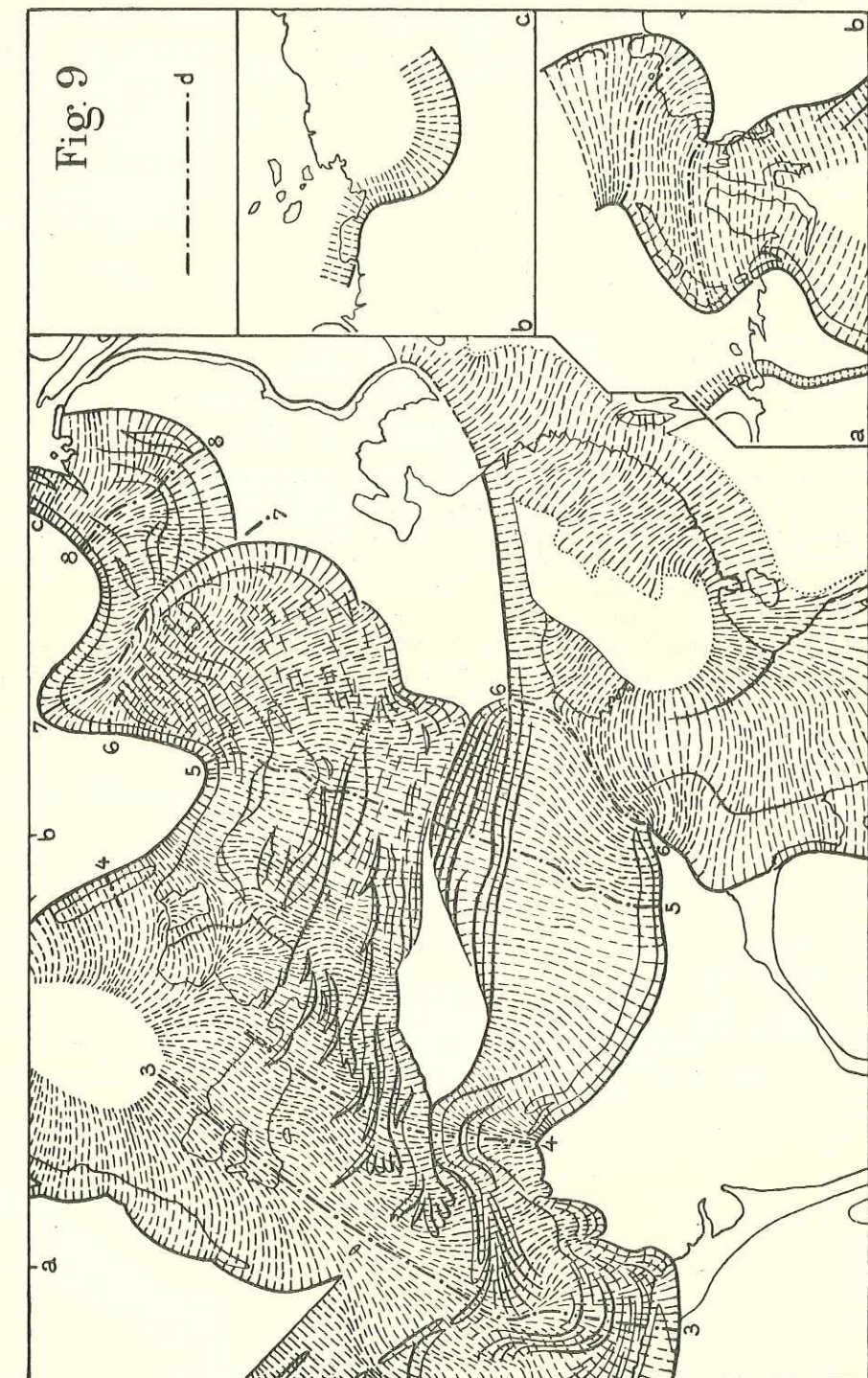


Figure 10. — La plasticité de l'Asie.

Le dispositif, l'échelle, la nomenclature et les remarques sont identiques à ceux de la figure 9. La suppression de la lettre, l'élimination des traces des plis et l'adoption du trait continu pour la projection horizontale des filets avivent l'impression d'écoulement plastique.

Les flèches donnent le sens de l'écoulement.

Le sens du déversement des plis et des charriages, généralement identique au sens de l'écoulement du flux d'ensemble, peut aussi, relativement, lui sembler exactement opposé, en des cas particuliers qui tiennent à la distribution des vitesses aux divers étages du flux, et par conséquent au fait que la matière se complique sur elle-même, en plis d'apparence rétrograde.

Voir, en outre, l'explication de la figure 12.

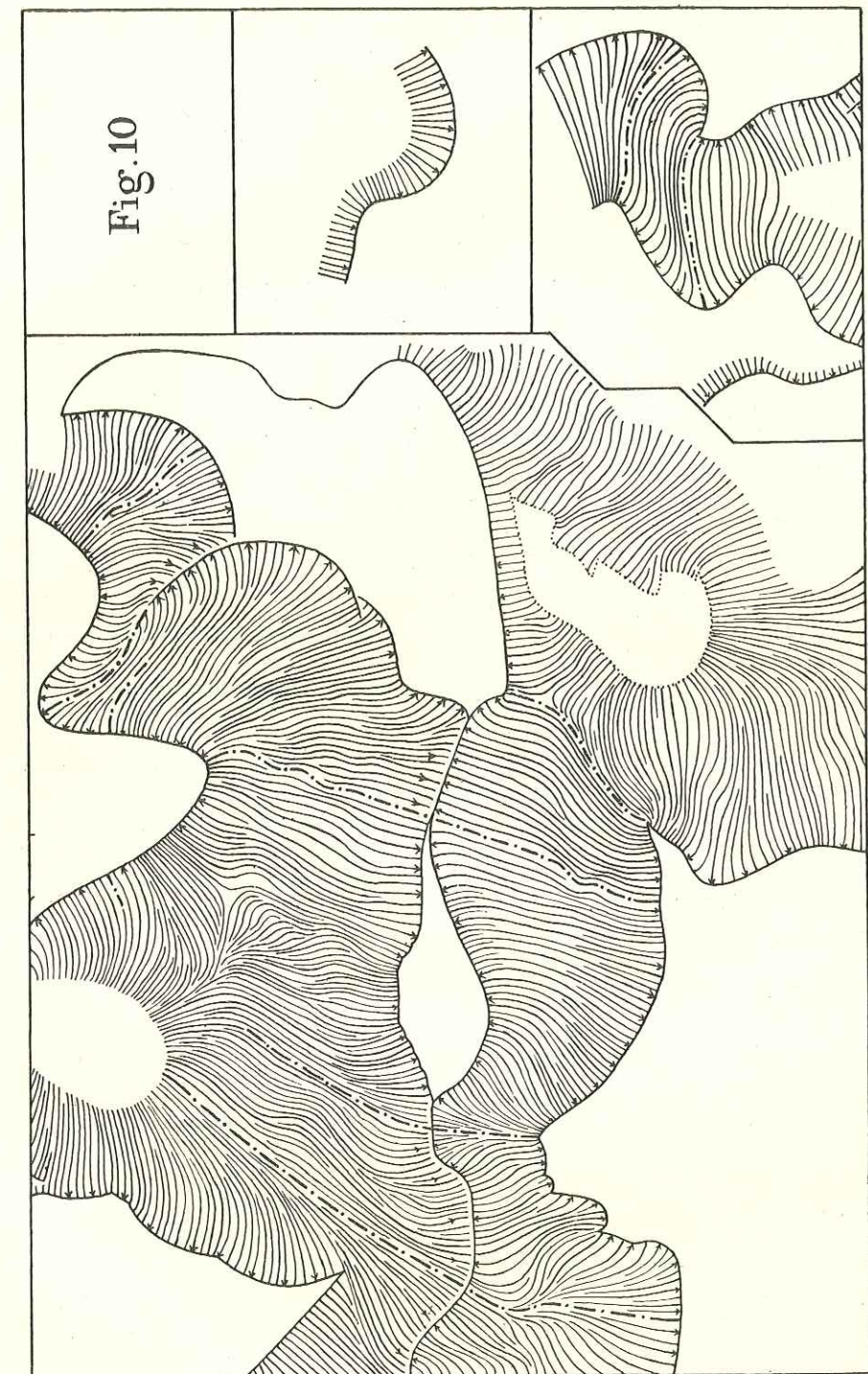


Figure 11. — Les principaux jeux d'axe des plis de fond alpins de l'Eurasie (moitié occidentale).

(voir le texte, pages 257 à 267).

Les nombreuses coupes en long montrent les grands jeux d'axe et leur dépendance à l'égard des massifs les plus figés situés au droit. Ces derniers massifs sont désignés par des hachures obliques.

Les figures 11 et 12 sont les moitiés d'un même dessin ; elles ont en commun une bande de raccord.

Echelle approximative des longueurs : 1 : 300000000e.

Echelle approximative des hauteurs : 1 : 750000^e.

On n'a pas figuré la courbure de la Terre.

a, diamètres singuliers. *b*, signe attribué aux quelques plis de fond que leur direction expose à être coupés autrement qu'en long.

1, diamètre britannique et lusitanien, répondant à l'exaltation d'axes jouée au droit du massif hébridien-laurentien. 2, diamètre parisien, répondant à un ennoyage axial et au fil de l'écoulement le plus aisé, au droit de l'intervalle entre le massif hébridien et le massif baltique. 3, diamètre arménien, répondant à l'exaltation du Caucase, jouée au droit du massif arabe. 4, diamètre central du segment touranien.

Abréviations : *Ar.*, Ardenne. *Arm.*, Armorique. *Canl.*, Cantabres. *Corn.*, Cornouaille anglaise. *F. N.*, Forêt-Noire. *H. L.*, massif hébridien-laurentien. *M. C.*, Massif central de la France. *M. S. R.*, massif schisteux rhénan. *P. f. arc anat. mér.*, plis de fond enclavés dans l'arc anatolien méridional. *Sc.*, chaîne scandinave. *T.*, Forêt de Thuringe. *Tb.*, Forêt de Teutobourg. *V.*, Vosges.

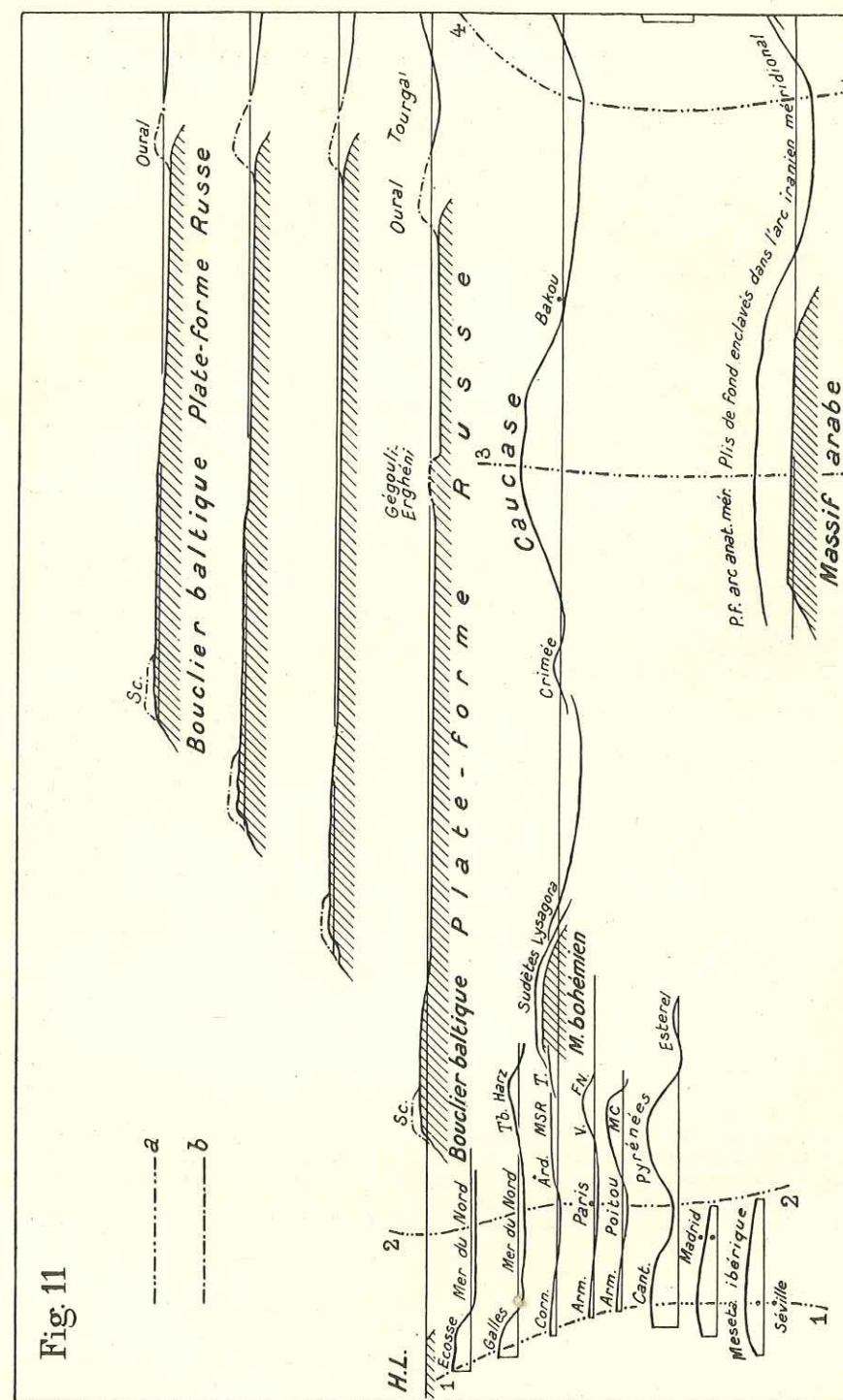


Figure 12. — Les principaux jeux d'axe des plis de fond alpins de l'Eurasie
(moitié orientale)

(voir, pour les discussions générales, les chapitres VI, VIII à XIV, XXI, XXIV à XXVI, XXVIII à XXXI ; pour les aspects régionaux, les chapitres V, VII à IX, XI, XIII à XX, XXII à XXIV).

Les nombreuses coupes en long montrent les grands jeux d'axe et leur dépendance à l'égard des massifs les plus figés situés au droit. Ces derniers massifs sont désignés par des hachures obliques.

Les figures 11 et 12 sont les moitiés d'un même dessin ; elles ont en commun une bande de raccord.

Echelle approximative des longueurs : 1 : 30000000^e.

Echelle approximative des hauteurs : 1 : 750000^e.

On n'a pas figuré la courbure de la Terre.

a, diamètres singuliers. b, signe attribué à quelques plis de fond que leur direction expose à être coupés autrement qu'en long.

4, diamètre central du segment touranien. 5, terminateur occidental du segment de l'Asie centrale. 5a, diamètre Irkoutsk-Hami. 6, diamètre commun au segment indo-sibérien et au segment indo-mongol. 7, terminateur oriental du segment de l'Asie centrale.

Le tracé des parties septentrionales des courbes 5 et 7, conforme à la teneur du texte, vient comme elle d'une simplification pratique, conçue de manière à comprendre entre ces courbes les jeux verticaux (jeux d'axe) les plus caractéristiques de la région centrale de l'Asie. Mais les figures 9 et 10, bien que planimétriques, viennent d'une conception graphique qui permet de tenir plus complètement compte de ce que révèlent les trois dimensions. Tous les diamètres y sont strictement conçus comme des lignes d'écoulement. En conséquence, les figures 9 et 10 définissent par les filets et par les lignes d'écoulement, aussi exactement que le permettent les données actuellement connues, tous les segments de flux et tous les diamètres de flux qu'on peut concevoir à l'intérieur du territoire représenté.

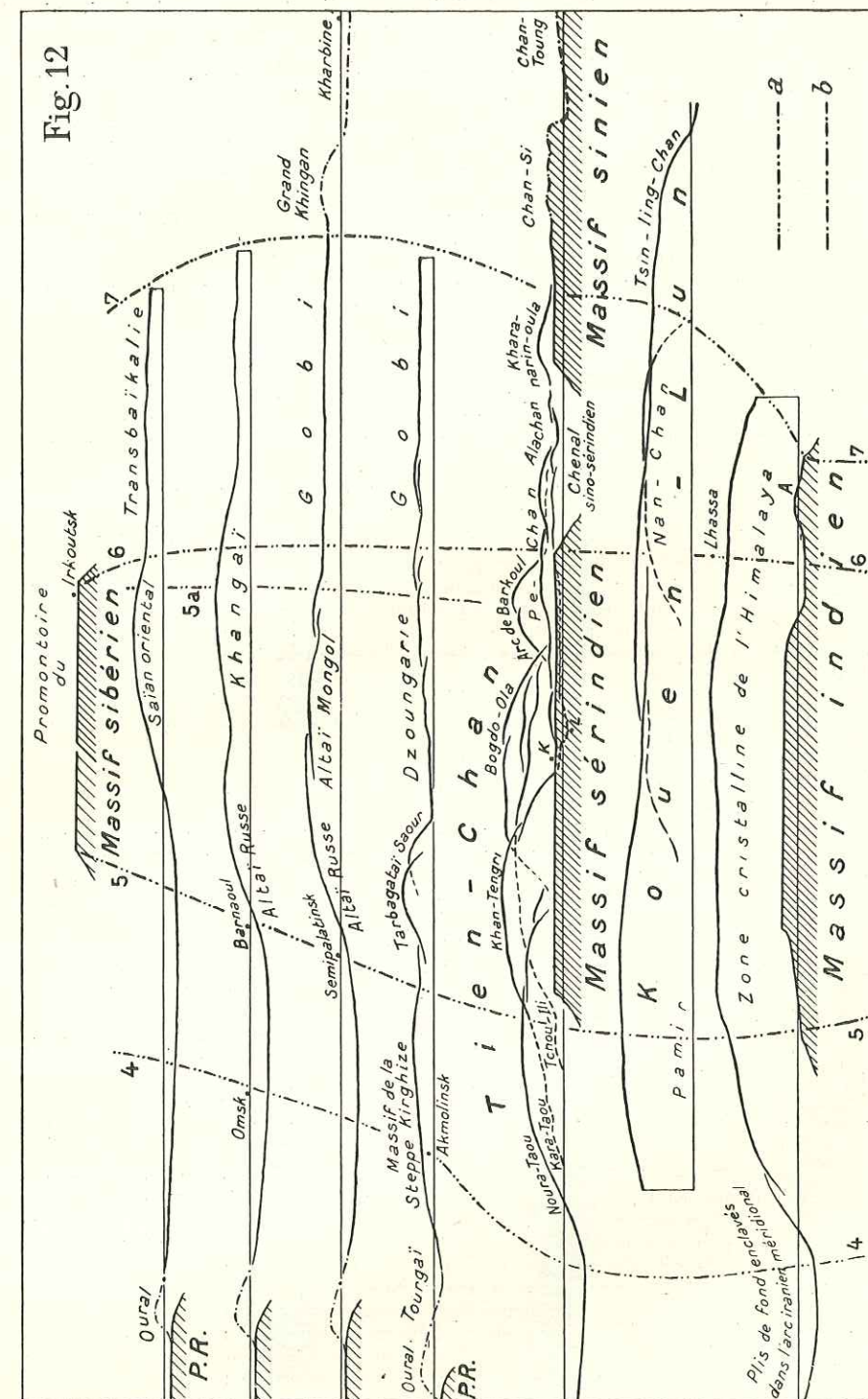
Il est clair qu'en rigueur il ne saurait y avoir, en régime d'écoulement indépendant du temps ou supposé tel en pratique, passage d'une ligne de flux d'un segment dans un autre. La conception de limites du segment de l'Asie centrale, vers le nord-ouest et vers le nord-est, est donc une fiction simplificatrice qui convient, en première approximation, à la discussion des principaux jeux d'axe ; dans des problèmes encore plus délicats, où une plus grande approximation s'impose, il est nécessaire de considérer que le domaine, au point de vue de l'écoulement, reste ouvert dans ces deux directions. Les figures 9 et 10 répondent à cette exigence et à beaucoup d'autres : elles expriment les jeux de tous les segments de flux, dans leurs traits majeurs et dans leurs principaux détails, avec un degré supérieur d'approximation.

Plus généralement, la conception graphique qui s'est exprimée dans ces figures — et aussi dans la figure 20 bis — est des plus aptes au rendu de jeux plastiques très divers. Sans parler de son pouvoir de suggestion visuelle qui atteint, pour ainsi dire, l'acte même de la déformation, elle parvient à ce rendu avec une efficacité et une précision qui passent de beaucoup — les données de départ étant les mêmes — tout ce qu'on peut attendre d'un texte, de coupes en long ou de graphiques usuels de genres divers.

Sous les réserves qui précèdent, le segment de l'Asie centrale est l'espace compris entre les courbes 5 et 7 ; le segment indo-sibérien, l'espace compris entre les courbes 5 et 6 ; le segment indo-mongol, l'espace compris entre les courbes 6 et 7.

Non visés par ces réserves, le diamètre commun au segment indo-sibérien et au segment indo-mongol, le diamètre central touranien et les parties méridionales des deux terminateurs ont le même tracé sur les figures 12, 10 et 9 ; ils sont donc exacts en première et en deuxième approximation.

Abréviations : A., Assam. K., Kourlia. L., fosse de Liouktchoun-Tourfan. P. R., plate-forme russe.



Figures 13 à 18. — Coupes transversales de la zone d'affrontement Eurasie-Gondwanie avec le dispositif issu de la Téthys.

Les coupes 13 à 18 forment une série homogène. Elles se rapportent par approximation à un état réalisé vers la fin des plus grands paroxysmes tertiaires, avant les grandes distensions et disjonctions qui ont affecté les segments occidentaux du dispositif — bâti méditerranéen, coupes 15 à 18 — et avant les dérives sur loupes. — Il est inutile d'ajouter que le figuré des grandes profondeurs est théorique et vise des solutions de principe, non de détail.

Echelle approximative des longueurs : 1 : 10000000^e. Les coupes rendent le style des déformations et font connaître l'ordre de grandeur de quelques déplacements principaux, les autres n'étant figurés qu'à titre qualitatif.

1, Gondwanie. 2, Eurasie. — Le noir plein désigne le sima, supportant le sal des blocs continentaux (en blanc). — Les produits tectoniques issus de la zone axiale de la Téthys (zone pennique sur les coupes 15 à 18) sont figurés par les champs pointillés. Ils ne sont pas représentés sur la figure 14. — Les flèches liées à des lignes en traits et points donnent le sens des translations, pour chacun des deux continents, relativement à l'autre. — Les flèches liées à des traits discontinus donnent le sens du mouvement pour des objets particuliers, relativement à des objets voisins. — Les lignes pointillées verticales donnent approximativement les sites en lesquels débiteront plus tard les grandes distensions ou les grandes disjonctions.

Le mécanisme de la mise en place des roches basiques à la face inférieure des nappes en mouvement, et plus généralement entre les principaux remous du sal compliqué sur lui-même, est suggéré par les coupes, qui donnent aussi le rattachement théorique de ces roches à leur site d'origine, le sima sous-continental.

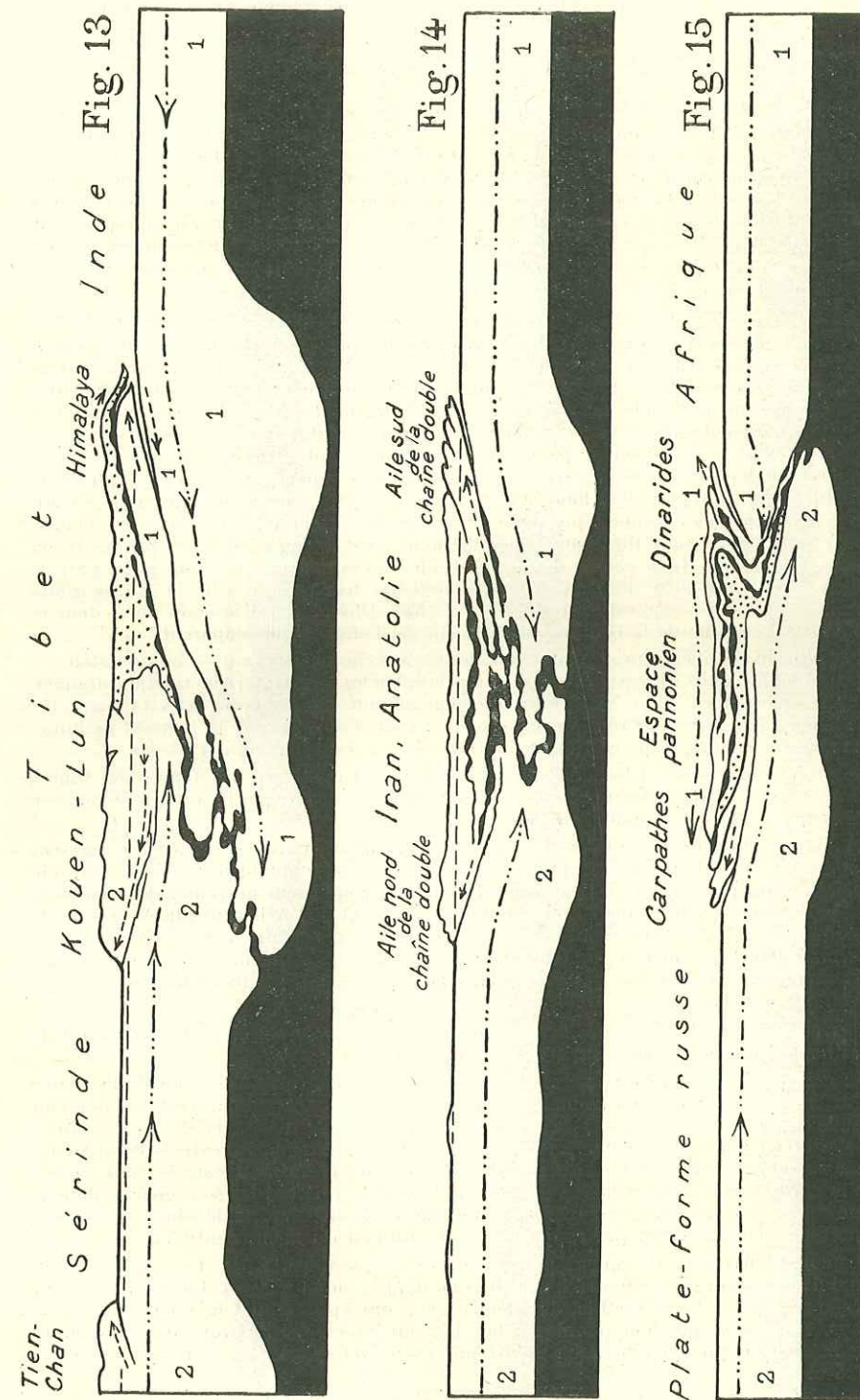
Les vieilles distensions qui, par des efforts bien des fois renouvelés, ont ébauché, créé et remanié la Téthys, ont engendré, par le fond du géosynclinal, de vastes espaces de sal aminci et déprimé. Dans les périodes de compression, ce sal mince s'est compliqué sur lui-même en un style qui est, quant au principal, le style plastique par excellence, celui des plis couchés. Un pli couché est un remous horizontal qu'enregistrent ordinairement, dans les hauts visibles, des structures parallèles enroulées. Sans structures parallèles pour l'enregistrer, le pli couché n'en existe pas moins à l'état de remous de sal, et l'enregistrement est donné par la périphérie du remous. — Les hauts visibles, qu'il s'agisse de grands plis couchés ou de charriages cassants qui prolongent le jeu de plis de fond, révèlent l'aptitude du flux à se répartir en étages superposés, caractérisés par des différences dans la vitesse de l'écoulement.

C'est une question ouverte de savoir si le gros d'un continent, dans toute sa hauteur, peut s'engager sous le gros d'un autre, dans toute sa hauteur. Dire qu'un continent est charrié sur un autre ne signifie donc pas nécessairement que l'engagement a eu lieu avec la gravité qu'on vient d'indiquer ; cet engagement, si amples que soient les charriages visibles ou admissibles, peut n'être que le fait des hauts d'un continent, dont les remous supérieurs débordent le continent antagoniste. En pareil cas, les différences d'altitude des deux masses, dans la zone et dans le temps de l'affrontement, paraissent avoir souvent décidé du sens du charriage, qui se fait vers la serre la moins élevée ; mais ce facteur n'est pas le seul et les choses peuvent tourner autrement.

De vastes remous profonds ont été indiqués à titre de suggestion sur les fig. 13 et 14. On en a été plus économe sur les fig. 15 à 18, sauf dans les hauts où il existe de bonnes raisons de les construire. Mais il y a lieu de penser qu'ils ne font défaut sur aucun diamètre. Il y a des remous opposés par lesquels les gros des deux masses antagonistes s'engrènent, au bout du compte, en sutures compliquées : cette forme plastique du jeu règne ou domine en profondeur.

Dans ces recouvrements de continent à continent, tous les cas précités peuvent être réalisés. Quant aux critères, il y a au moins cinq cas dignes d'attention. On a : 1, des charriages francs dont la netteté provient de ce que les vieilles distensions avaient abouti, sur le diamètre correspondant, à une disjonction parfaite des deux sals. En ce cas tout charriage postérieur est nécessairement franc. — 2, des charriages francs résultant de l'étirement complet de flancs renversés de remous du sal, et singulièrement de plis couchés bien enregistrés. — 3, des recouvrements avec passages ménagés, le flanc renversé étant puissamment étiré, mais présent. — Les chances, pour le sima basal des nappes en mouvement, de parvenir très à l'avant, décroissent dans l'ordre de 1 à 3. — 4, des recouvrements des types 2 et 3, mais peu disséqués et encore enfouis sous leur manteau de sédiments plus

(Suite et fin de ce texte à la page 350)



Figures 13 à 18. — Coupes transversales de la zone d'affrontement Eurasie-Gondwanie avec le dispositif issu de la Téthys

(Suite et fin du texte de la page 348)

doucement déformés. C'est un fait bien connu que les contournements intenses présentés, en profondeur, par de grands plis couchés, s'affaiblissent vers le haut et vers l'avant, en s'effaçant presque à la surface structurale, qui est en principe une dorsale de cordillère un peu dissymétrique et sans le moindre renversement. — 5, des recouvrements des types 1 à 3, enfouis sous des capuchons d'apparence rétrograde. — On voit combien les règles du jeu sont variées et quel excès il y aurait à conclure, du fait qu'on ne voit pas de charriage franc, de recouvrement ménagé ou même de renversement sur tel diamètre, à l'inexistence de charriages bicontinentaux évidents sur d'autres diamètres et nécessairement présents sur celui-là.

Figure 13. Segment de l'Asie centrale. L'Eurasie est sous-charriée par la Gondwanie.

Figure 14. Esquisse d'un type général d'affrontement à parité ou presque à parité de hauteur. Les segments orientaux du dispositif (fig. 13) montrant la Gondwanie sur l'Eurasie et les segments occidentaux (fig. 15 à 18) montrant l'inverse, cet agencement intermédiaire à des chances de prévaloir sur des longueurs de segments intermédiaires, c'est-à-dire sur plus d'un diamètre iranien ou anatolien. Mais cela n'exclut, pour aucun de ces segments, le recouvrement d'un continent par l'autre. La marge septentrionale de la Gondwanie est vraisemblablement engagée, avec des complications appartenant à un ou à plusieurs des cinq genres indiqués plus haut, dans la largeur entière de l'Anatolie et de l'Iran, avec avancée jusqu'au domaine pontique et vers les lisières du Touran. Plus loin, l'engagement se poursuit sous l'intumescence tibétaine, avec avancée vers les lisières de la Sérinde. L'aile nord de la chaîne double (Cordillère bétique, Baléares, Alpes, Carpathes, Balkans, arcs anatolien et iranien septentrionaux, lisières nord-est du Karakorum et probablement lisières nord du reste de la Téthys tibétaine) est mue au nord, dans le sens de la translation de la Gondwanie dont elle est l'effet le plus apparent.

L'exaltation des deux ailes de la chaîne double et celle qui prévaut — ou prévalait, — un peu moindre, dans les vastes espaces compris entre les ailes (intérieur tibétain, iranien, anatolien, pannonien, etc.), résulte directement et indirectement des jeux tangentiels ; directement, par l'effet vertical du plissement ; indirectement, par la poussée archimédienne des loupes de sal qui restitue de l'altitude aux régions en cours d'érosion.

La grande exaltation tibétaine s'explique non seulement par les fortes résistances qui interviennent dans le segment de l'Asie centrale, mais encore par le surcroît de poussée archimédienne dû à la Gondwanie sous-charriée.

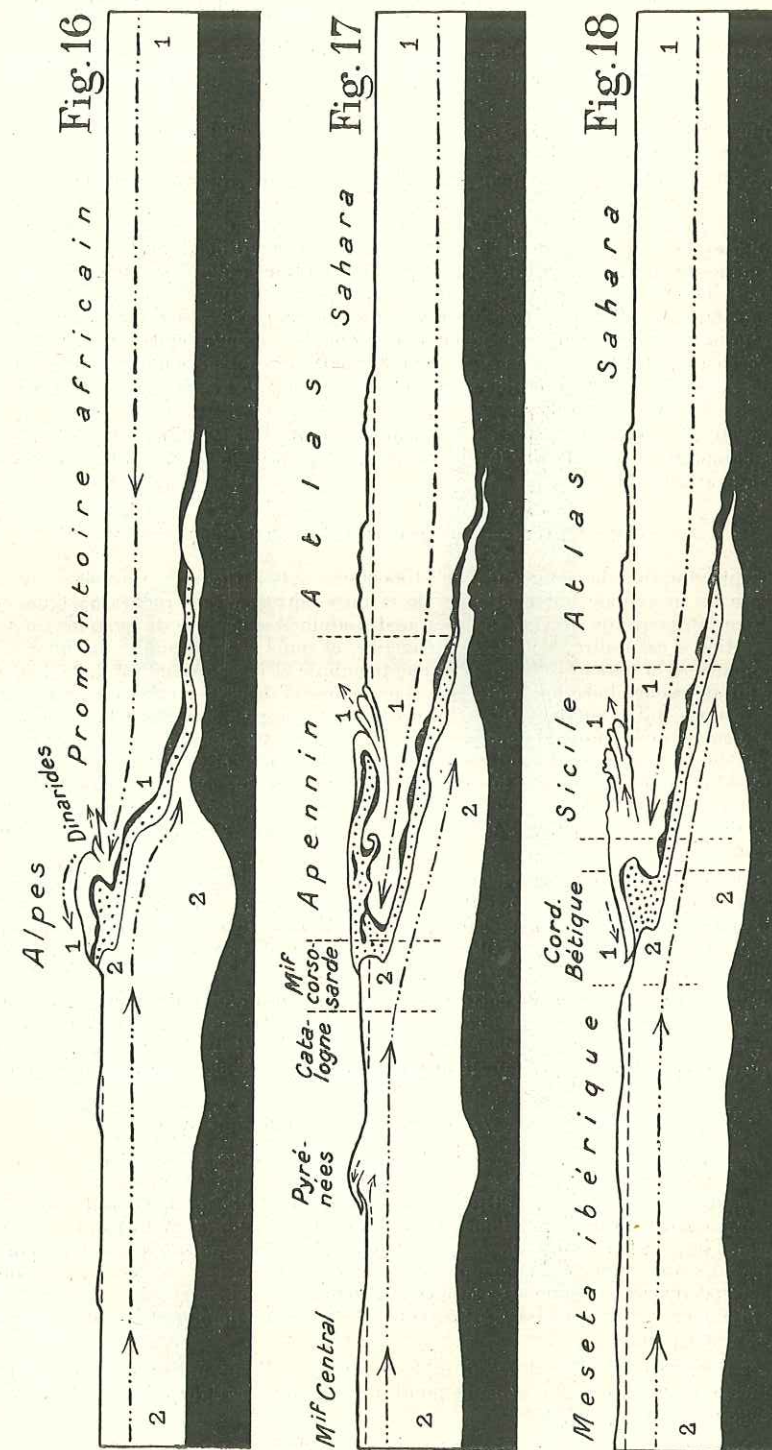
La moindre exaltation iranienne s'explique par la moindre résistance du segment touranien de la vieille Eurasie, et pour une autre part, vraisemblablement, par le fait que le sal gondwanien engagé avec l'Eurasie est de moindre épaisseur moyenne et de moindre tonnage, à surface égale, dans l'Iran que dans le segment de l'Asie centrale. La raison de cette différence s'entend aisément : dans le dernier cas, on a affaire au sal indien, robuste et normal ; dans le premier, à un sal préalablement et assez généralement aminci, prolongement septentrional de celui qui gisait dans la dépression déjà distendue du canal de Mozambique (cf. fig. 6).

Figures 15 à 18. Régions méditerranéennes. La Gondwanie est charriée sur l'Eurasie, et les nappes austro-alpines en sont le saillant le plus avancé.

Du grand pli de fond himalayen aux chaînes atlasiques, toute l'aile sud de la chaîne double, arcs méridionaux de l'Iran et de l'Anatolie, Dinarides, Apennin, semble se mouvoir au sud, ce qui n'est vrai que relativement au gros de la Gondwanie. Ces objets étant, en totalité ou quant à leurs parties essentielles, le résultat de complications de la Gondwanie sur elle-même, il est nécessaire d'admettre que leurs mouvements sont dirigés vers le nord comme la translation du gros de la Gondwanie qui les sous-charrie dans le même sens, avec une vitesse supérieure. Les hauts de la Gondwanie, dans ces objets, se mettent donc en retard par rapport au gros profond du même continent.

Les sous-charriages atteignent parfois, outre les sédiments de l'ex-talus septentrional de la Gondwanie, aujourd'hui moulés en nappes ou en plis sur toute la longueur de l'aile sud de la chaîne double, des éléments qui ont appartenu à la zone axiale de la Téthys. Ainsi du capuchon pennique (fig. 17) qui enveloppe l'Afrique dans l'Apennin septentrional et qui appartient en réalité aux Alpes (cf. page 310, et l'explication des fig. 26 et 27).

Les indications régionales des figures 13 à 18 s'expliquent d'elles-mêmes.



Figures 19 et 19 bis. — Les Alpes et l'Afrique avant et après les grandes distensions

Voir le texte, pages 304 à 311, et comparer les figures 13 à 18. — Echelle approximative des longueurs : 1 : 14000000^e. Hauteurs majorées. On n'a pas figuré la courbure de la Terre.

Remarques générales, ainsi que 1, 2, noir plein, blanc, champs pointillés et flèches, comme sur les figures 13 à 18.

La coupe 19 (avant les distensions) figure dans les grands traits la condition réalisée vers la fin du paroxysme oligocène. L'Afrique est charriée sur l'Europe, et les nappes austro-alpines en sont le saillant le plus avancé. L'Afrique, au cours de sa translation, s'est compliquée sur elle-même, à l'arrière des Alpes, en donnant des plis et des charriages à regard tourné au sud : les Dinarides et l'Apennin résultent de ce jeu particulier, de ce retournement de détail marqué par l'Afrique essentiellement mue vers le nord. Les hauts de l'Afrique, dans les Dinarides et dans l'Apennin, se sont mis en retard par rapport au gros profond du même continent, d'où l'apparence de mouvements rétrogrades. — La ligne verticale pointillée donne approximativement le site en lequel débiteront les plus grands étirements, préalables à la déchirure probable du sal dans les fosses les plus basses de la Mer Ionienne.

La coupe 19 bis (après le gros des distensions) montre l'importance des étirements et des arrachements provoqués par la dérive de l'Europe vers le nord (voir l'explication des figures 22 et 23).

Figure 19 ter. — Les grands détails des Alpes.

Echelle approximative des longueurs : 1 : 1000000^e. — 1, Afrique. 2, Eurasie. — Cette figure évoque les principales circonstances de la mise en place des roches basiques (en noir) à la face inférieure de diverses nappes austro-alpines, à la base du système austro-alpin tout entier, c'est-à-dire de l'Afrique charriée, et dans le Mésozoïque du sillon piémontais, dépression la plus profonde de la zone pennique et par conséquent de la Téthys. Ce dernier lot de roches basiques a été peu à peu enroulé dans la partie des grands plis couchés penniques qui répond au flanc renversé de la nappe de la Dent-Blanche (VI), au périmètre entier de la nappe du Mont-Rose (V) et à la portion la moins avancée du flanc normal de la nappe du Grand-Saint-Bernard (IV). De petites poussées d'habitats laccolitiques, alimentées du bas par les grands sills, ont été forcées vers le haut dans le cœur anticlinal de la nappe VI. Ces mises en place, qui se poursuivent avec des vicissitudes diverses pendant les temps précurseurs alpins, se terminent avant les derniers efforts du paroxysme oligocène.

a, b, plis de fond du bord de la vieille Eurasie (1^{re} zone, voir pages 259 et 260), dus à l'énergie restituée, avec décroissance des effets de l'intérieur à l'extérieur (charriages cassants exprimés dans les paquets internes a ; charriage latent sous-jacent au gros renflement préliminaire b ; c, fonds plus externes, à peu près exempts de déformations dues à l'énergie restituée).

Pour un figuré de l'évolution de cette chaîne, en 13 coupes au millionième ordonnées dans le temps, du Carbonifère à l'Oligocène, voir, du même auteur, le mémoire « Sur l'arc des Alpes Occidentales » (*Eclogae Geol. Helv.*, vol. XIV, n° 1, 1916, pp. 145-191, 2 pl.). La pénétration de l'Afrique dans le dispositif des Alpes est signalée dans ce mémoire.

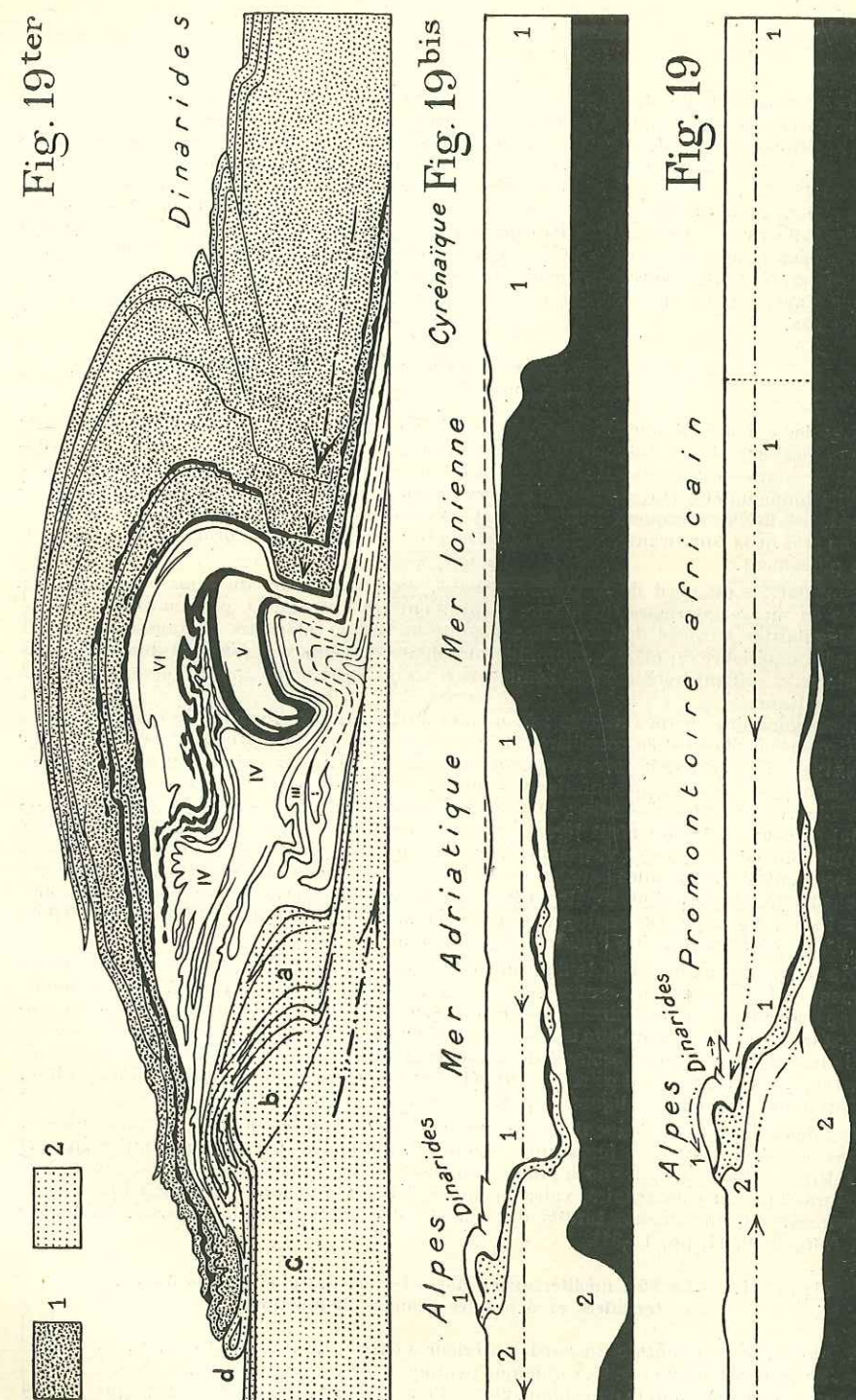
Figures 20 à 27. — Le bâti méditerranéen

(voir le texte, pages 304 à 311, et comparer les coupes 15 à 19 ter)

Ces neuf cartes donnent une restitution des principaux états du bâti méditerranéen, des temps précurseurs alpins à nos jours. Les figures 20, 21 à 25 et 27 forment une série dont les termes sont ordonnés dans le temps. La figure 20 bis se rapporte à la même époque que la figure 20, et la figure 26 à la même époque que la figure 21. — Echelle approximative des cartes 20 à 25 : 1 : 55000000^e. Echelle approximative de la carte 26 : 1 : 18000000^e. Echelle de la carte 27 : 1 : 18000000^e. L'ordre de grandeur des déformations et des déplacements est ainsi donné.

Les cartes donnent, avec un degré d'approximation suffisant à beaucoup de tâches, le cadre, incessamment déformé et sans point fixe, d'une stratigraphie redistribuée et d'une paléogéographie consistante.

Suite de ce texte à la page 354)



Figures 20 à 27. — Le bâti méditerranéen

(Suite du texte de la page 352)

Les cartes ne donnent, en principe, que le bâti solide, objet essentiel de la tectonique. L'extension des mers qui couvrent le plateau continental proprement dit — au-delà de l'arête supérieure des talus — n'est donnée que sur la carte 27 qui répond à l'état présent. L'étendue des espaces de mer les plus profonds résulte immédiatement, sur les cartes 22 à 25, de celle des régions les plus distendues (en noir plein). Une bonne partie des régions moins distendues (en gris sur les mêmes cartes) était sous la mer et répondait à des talus avec leurs diverses déformations. — Les portions de rivages actuels, intacts ou déformés, ne sont données qu'à titre de repères sur les cartes 20 à 26. — Dans toutes les cartes, les parties antérieurement détruites par l'érosion sont supposées restituées. — Pour d'autres indications concernant la majeure partie de ces cartes, voir au bas de la page 358.

Figures 20 et 20 bis. — Les traits généraux du bâti méditerranéen aux temps précurseurs alpins

Les deux figures donnent les principales singularités du vieux bord gondwanien et du vieux bord eurasién. La figure 20 donne l'allure générale des embryons — sillons, cordillères ou simples rides suivant les temps et les lieux — des chaînes de la Téthys. La figure 20 bis donne un état correspondant du flux plastique de la Téthys avec ses filets d'écoulement. Les flèches indiquent le sens de cet écoulement, relativement au gros de l'Eurasie ou au gros de la Gondwanie, pour les étages du flux dans lesquels se prononce la commande du plissement.

Singularités du bord de la Gondwanie : 1, arête supérieure du talus continental. 2, arête ou marge inférieure du même. P, promontoire africain. Q, promontoire arabe.

Singularités du bord de l'Eurasie : 3, arête ou marge inférieure du talus continental. 4, arête supérieure du même. a, promontoire ligurien. b, hémicycle rentrant des Alpes Occidentales. c, saillant bohémien. d, hémicycle rentrant de la région carpathique. e, promontoire gétique.

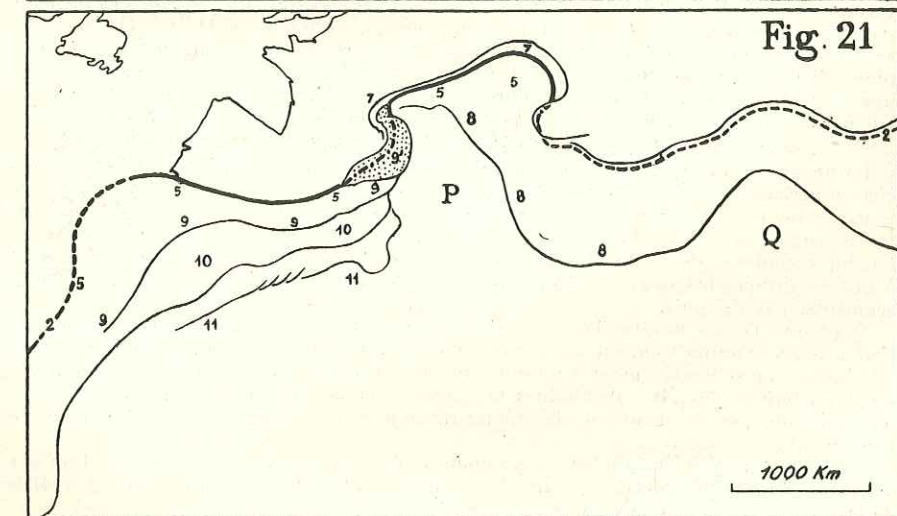
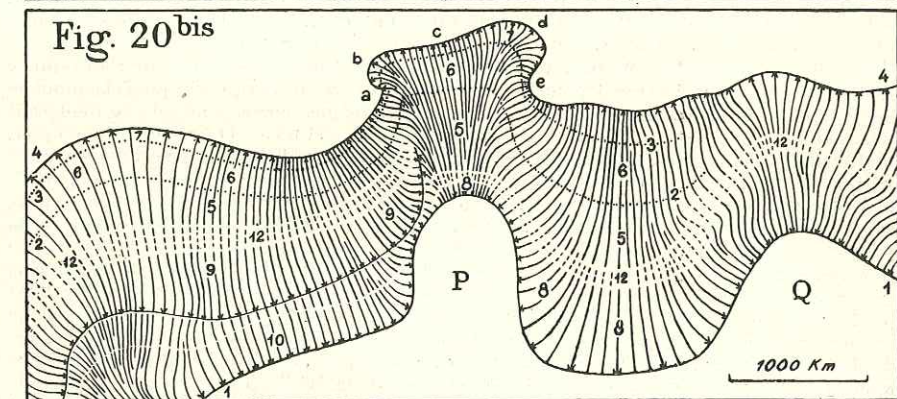
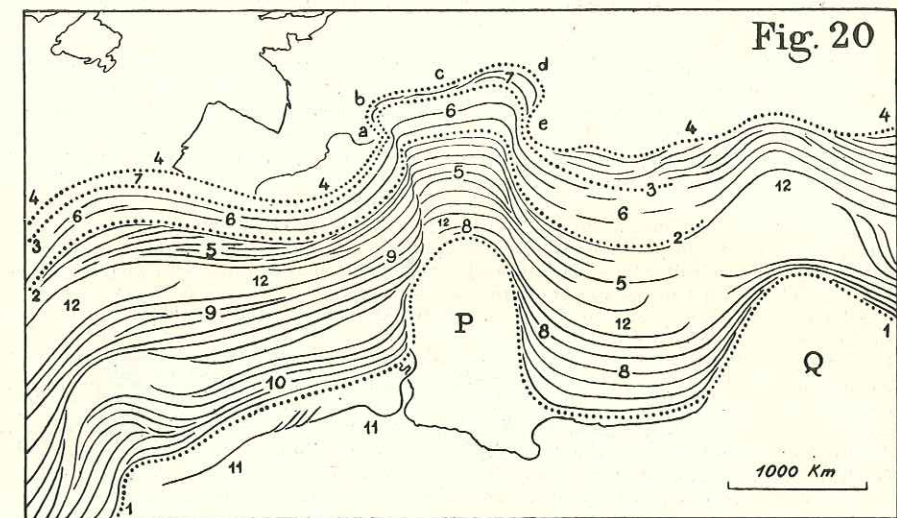
Embryons des chaînes neuves : 5, nappes austro-alpines, formant le bord antérieur, différencié en sillons et en cordillères, de la Gondwanie. 6, zone axiale de la Téthys ou zone pennique, déjà en partie recouverte, au sud, par 5. 7, embryons des nappes helvétiques et des nappes carpathiques inférieures, dont se complique le talus eurasién. 8, embryons des Dinarides ; 9, de l'Apennin ; 10, des chaînes atlasiques moins l'Atlas Saharien, plissement de couverture qui n'est figuré (11) que pour faire sentir sa participation future, à l'aile gauche, au jeu des virgations naissantes qui embrasse déjà, à l'approche du gros du promontoire P, les ailes gauches de 10 et de 9. 12, zone axiale de l'éventail formé par la chaîne double. Cet objet répète à l'état naissant, en Méditerranée occidentale et au-delà vers l'ouest, les dispositifs analogues qui se prononcent dans ce qui sera l'intérieur du Tibet, de l'Iran, de l'Anatolie, de l'Egée et de la Pannonie.

En temps de compression, le flux direct — écoulement au nord dans le sens du déplacement de la Gondwanie — embrasse tout ce qui s'étend au sud de 4. Le flux subordonné, d'apparence rétrograde, embrasse toute la largeur de 9 et 10, ainsi que de 8 et de ses prolongements jusqu'à l'Himalaya inclus. Il est, lui aussi, de sens direct, mais avec des vitesses moindres que dans le gros profond de la Gondwanie qui le sous-charrie, et c'est seulement par rapport à ce gros qu'il peut être dit rétrograde. — La tendance du flux austro-alpin, au droit du promontoire ligurien, à passer sous l'Apennin, s'esquisse.

Les deux figures conviennent plus particulièrement à un moment qui se place un peu avant le déclin des temps jurassiques, époque des premiers jeux andins importants de la Téthys. — Pour un figuré de la progression des fronts dans la boucle alpino-carpathique, du Jurassique au Quaternaire, voir, du même auteur, le mémoire intitulé « Plissements précurseurs et plissements tardifs des chaînes de montagnes » (*Actes Soc. Helvétique Sc. Nat.*, 1920, II, pp. 13-31).

Figure 21. — Le bâti méditerranéen après le fort des plus grands paroxysmes tertiaires et avant les grandes disjonctions

2, projection horizontale du bord antérieur charrié de la Gondwanie. P, Q, comme dans les figures 20 et 20 bis. 9', capuchon pennique (6' de la figure 26). 5, 7, 8, 9, 10, 11, et champ pointillé, comme dans la fig. 26. — Pour plus de détails sur cette époque, voir la figure 26 et son explication.



Figures 22 et 23. — Le bâti méditerranéen durant les plus grandes distensions et disjonctions

Ce jeu puissant, qui a refait aux dépens de la Gondwanie et de l'Eurasie, largement engagées l'une sur l'autre, une Méditerranée profonde, est dû à une dérive de l'Europe vers le Nord. Sa durée est parfois désignée, dans le texte, sous le nom de seconde phase — les plus grands paroxysmes tertiaires étant dans cette acception la première — ou de phase des grands arrachements. C'est dans ce laps de temps que le bâti méditerranéen acquiert les traits essentiels de la disposition que nous lui connaissons ; toutes les déformations dont ce bâti sera encore le siège seront de détail comparées à ce jeu-là.

Légende : 1, sal aminci. 2, sal plus aminci en moyenne, avec ou sans trous de sima par endroits. — Faute de place, le sal le moins aminci n'est pas toujours figuré au pourtour entier des objets étroits. La distribution du sal aminci, dans le gros de la vieille Eurasie et dans celui de la Gondwanie, n'est pas figurée.

La figure 22 donne un état du bâti, le grand jeu étant bien engagé ; la figure 23, un état postérieur, le grand jeu étant plus avancé.

Bref exposé d'un problème général. — Les distensions consistent en un tronçonnement lenticulaire du sal (cf. page 299 et fig. 19 bis) et la surface du domaine distendu s'abaisse. Ces faits sont de première importance pour la diagnose et pour le repérage chronologique des phases du jeu. A un moment quelconque de l'affaire, la dépression est maximum dans la région centrale ou axiale de la fosse, par où a débuté la distension, et cet effet vertical va en diminuant graduellement vers le pourtour du domaine distendu. — Au cas d'évolution très avancée, ce dernier comprend une région centrale ou axiale de sima (I) à laquelle font suite, vers la périphérie, des zones de sal de moins en moins distendu : II, sal fortement distendu et très déprimé, passant graduellement à III, sal moins distendu et moins déprimé, au-delà duquel vient, en continuité, le sal non encore atteint par la distension en cours (IV). Avec le temps I s'agrandit, et aussi l'ensemble de l'aire qui se distend ; les zones II et III se déplacent graduellement vers une périphérie que III conquiert sur IV, et tous les états bathymétriques ou altimétriques correspondants se déplacent dans le même sens. — Au cas d'évolution moins avancée, I et même II ne peuvent manquer, mais cela ne change rien au caractère général du déplacement des effets verticaux vers la périphérie. — La mer couvre I et II ; elle peut couvrir III en entier ou seulement en partie : le rivage, dans ce second cas, définit par défaut le bord de l'aire distendue. La mer peut aussi, ailleurs, couvrir des portions de IV : le rivage, pour lors, définit par excès le bord de la cuvette de distension. — Soit, dans le second cas, IIIa la partie immergée et IIIb la partie non immergée de III : IIIb est le siège d'une sédimentation non-marine et détritique intense, généralement pauvre en fossiles et nourrie par les domaines IV restés en contre-haut (cf. le gros non-marin de l'Aquitainien des environs de la Méditerranée). — Toute distension en cours qui n'est pas de site strictement intra-continental détermine une transgression marine dont le biseau enregistre à chaque instant l'agrandissement de l'aire distendue (cf. les rares lambeaux d'Aquitainien marin visibles au pourtour de la Méditerranée actuelle et l'ample transgression du Burdigalien). — Cet enregistrement se fait, suivant les temps et les lieux, par excès ou par défaut. — Les états bathymétriques afférents à II et à III (ou IIIa) se déplaçant vers la périphérie, une distension en cours se traduit, sur la verticale d'un point de l'aire qu'elle affecte, par des dépôts dont la succession et la nature indiquent une descente (par exemple, l'approfondissement assez général du pourtour méditerranéen au passage du Burdigalien à l'Helvétien inférieur, sous son faciès du Schlier).

Diagnose et chronologie des principales phases du grand jeu distensif méditerranéen.

1^{re} phase. Symptômes d'étendue locale ou régionale et de caractère modéré à l'Oligocène supérieur et aux premiers temps aquitaniens. De ces premiers foyers de distension, plusieurs deviendront, dans la 2^e ou la 3^e phase, les régions centrales ou axiales des grandes fosses profondes : ils se déprimeront, s'élargiront, se rencontreront, s'intégreront en des bassins complexes de vaste étendue. D'autres, comme le sillon transgéén, en restent à une condition plus modeste et leur étroitesse les expose à des obturations, en certains segments, par des plis.

2^e phase. Temps aquitaniens avancés. Multiplication, extension, élargissement des lésions graves ; apparition, sur de nouveaux points, de lésions encore modérées. La figure 22 répond approximativement à un état traversé au cours de cette phase. L'agrandissement postérieur des aires distendues fait que la plupart des biseaux supra-oligocènes ou aquitaniens marins sont sous la Méditerranée actuelle, les autres étant décelables en petit nombre.

3^e phase. Fin de l'Aquitainien ou premiers temps du Burdigalien. Généralisation des jeux distensifs et disjonctifs, qui paraissent dans toute leur force. Les traits essentiels de la planimétrie nouvelle sont acquis à la fin de la phase (figure 23).

(Suite et fin de ce texte à la page 358)

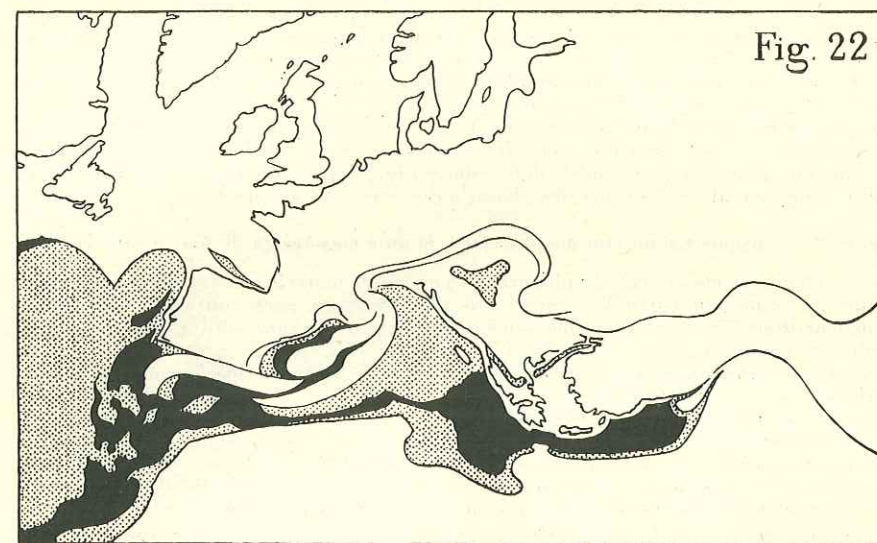
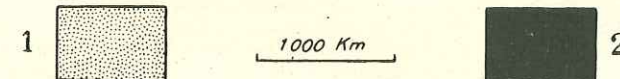


Fig. 22



Fig. 23



(Suite et fin du texte explicatif des figures 22 et 23)

4^e phase. Burdigalien. Suite des jeux distensifs et disjonctifs, avec quelque chose de moins brusque ; les aires complexes des distensions continuent à mordre au pourtour des fragments démembrés et dans les deux troncs continentaux, d'où la distribution et l'ampleur de la transgression burdigalienne.

5^e et dernière phase. Helvétien inférieur. L'effet vertical des distensions, dont l'intensité moyenne s'est encore modérée, demeure sensible dans la substitution assez générale du Schlier à un régime de sédimentation moins profonde. Le maximum des effets de toute nature, comprenant les résultats des phases antérieures, est atteint.

Figure 24. — Esquisse d'un état post-helvétien et anté-plaisancien du bâti méditerranéen.

Jeux pliants modérés dans la plupart des chaînes et nouvelles avancées de charriages bordiers. Une minime partie de l'énergie intra-continentale, partie qui se distribue dans les articulations préexistantes et dans quelques objets nouveaux, suffit à cela en Eurasie comme en Gondwanie.

La suite de la Cordillère bétique est déjà bouclée entre la Meseta marocaine et la Meseta ibérique.

Distensions et disjonctions atlantiques.

(De l'Helvétien supérieur inclus au Pontien inclus, le rôle des tractions, en Méditerranée et dans les entours, est intermittent, subordonné et limité à quelques régions. Les jeux plicatifs, encore que modérés, dominent dans l'ensemble, ici par plis étroits, ailleurs par larges gauchissements du fond ; les effets ascendants prévalent. C'est au Pontien, comme on sait, que cette reprise atteint à son maximum d'efficacité. Mais l'idée suivant laquelle la Méditerranée s'en trouvait réduite à un étroit chenal, dirigé d'ouest en est, est contournée, et les principales fosses ne différaient pas beaucoup, alors, de ce qu'elles avaient été au Burdigalien ou de ce qu'elles sont aujourd'hui. — Au Plaisancien, nouvelles distensions et disjonctions, bénignes en comparaison de celles du Néogène inférieur, et qu'enregistre, au pourtour qui se déprime, la transgression plaisancienne).

Figure 25. — Esquisse d'un état quaternaire du bâti méditerranéen

L'ennoyage égéen, aire de sal distendu et un peu disjoint, existe, ainsi qu'une Mer Noire profonde. L'espace pannonien s'est encore distendu et la boucle des Carpathes s'est dilatée d'autant. Le détroit de Gibraltar, effet d'une distension qui s'est opérée en direction méridienne, entre Europe et Afrique, existe. Il existe aussi une Mer Rouge profonde.

Jeux plicatifs.

Distensions et disjonctions atlantiques. La crête médiane de l'Atlantique continue de se définir ; elle comprend, à l'état de franges, des restes des plis de fond de l'Armorique et du sud des Iles Britanniques. Ces restes, qui comprennent sans doute du sal ayant appartenu aux loupes infratectoniques originelles, afférentes aux grands anticlinaux de fond, ont été allongés de beaucoup ; ils ont plus ou moins conservé leur largeur, mais ils sont fortement amincis dans le sens vertical, d'où leur condition basse et leur peu de flottaison au-dessus du niveau du sima. Restes des plis de fond pyrénéens semblablement traités et en outre lâchés, en poupe, par la crête médiane.

Légende des deux figures : 1, sal aminci. 2, sal plus aminci en moyenne, avec trous de sima dans la Méditerranée et larges surfaces du même dans l'Atlantique. — La distribution du sal aminci, dans le gros de la vieille Europe et dans celui de la Gondwanie, n'est pas figurée.

Remarques générales, et d'application particulière aux figures 6, 19 bis, 22 à 27.

Les distensions qui précèdent, dans la plupart des cas, les disjonctions, entraînent une déformation plus ou moins opérante des deux lèvres du sal en voie de séparation. Il en résulte une première série d'altérations de la congruence. D'autre part l'auteur de ces restitutions a trouvé des raisons d'admettre que la largeur de bien des segments de talus, plutôt raides immédiatement après les disjonctions, est allée ou va en augmentant jusqu'à un certain point avec le temps. La plasticité du sal fait qu'il y a, pour cette matière considérée par grandes surfaces, une *inclinaison-limite* au-dessus de laquelle le sal marginal des continents est instable et tend, par un lent écoulement à commande gravitative, parfois accompagné d'écroulements locaux avec niches de départ et surfaces de glissement, à revenir à l'inclinaison-limite, qui n'est que d'un petit nombre de degrés pour la face supérieure des grandes masses. De ces phénomènes résulte une deuxième série d'altérations de la congruence.

L'existence de ces altérations diverses suffit à enlever toute efficacité aux objections qu'on pourrait baser sur le degré d'approximation de certaines congruences. Il a été tenu compte de ces altérations, dans l'établissement des figures, sur tous les points où cela a paru indiqué.

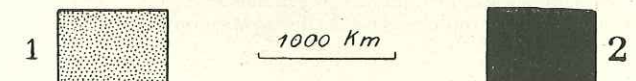
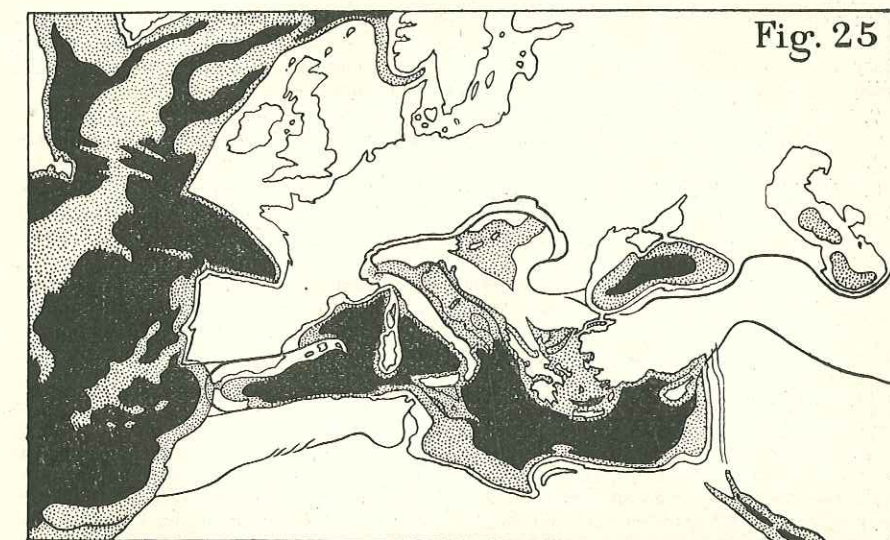
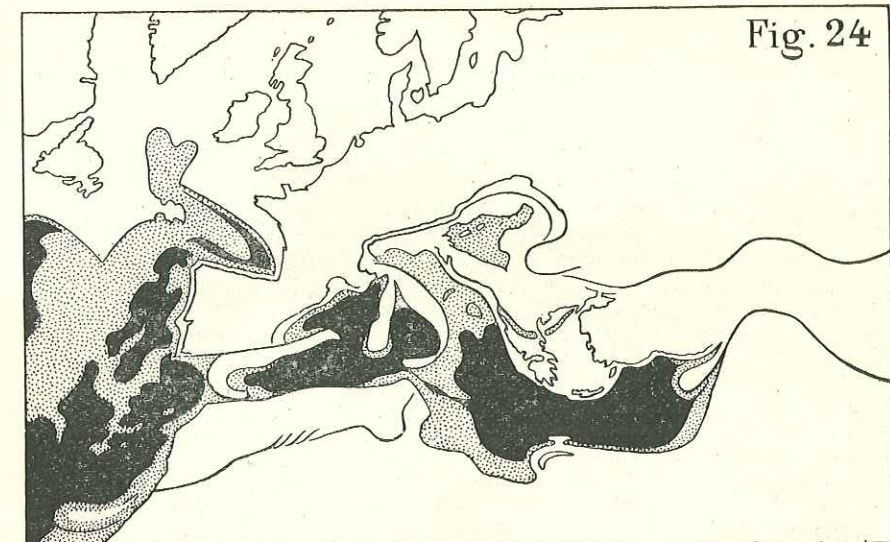


Figure 26. — Le bâti méditerranéen après le fort des plus grands paroxysmes tertiaires et avant les grandes disjonctions

Echelle approximative : 1 : 18000000^e. Cette carte donne, avec plus de détails, les parties essentielles de la figure 21.

L'Afrique est charriée sur l'Eurasie. Le charriage de l'Afrique a réduit la Méditerranée à un lacs de mers épicontinentales et de sillons sans grande profondeur.

1, Gondwanie. 2, Eurasie, encore soudée à l'Amérique du Nord.

3, 3', 3'', bord septentrional de l'Afrique. 3, ce bord, auquel on a restitué les parties aujourd'hui enlevées par l'érosion. 3', le même, enfoui sous d'autres nappes (capuchon pennique de l'Apennin septentrional et central) ou masqué — aujourd'hui — par des couvertures (Olténie). 3'', site approximatif de la suite du même bord, en projection horizontale.

4, bord externe de la zone pennique. 4', bord interne de la même.

5, nappes austro-alpines (nappes supérieures de la Cordillère bétique, Baléares, Alpes, nappes supérieures des Carpathes, massif du Rhodope).

6, les nappes penniques, dans les quelques régions où elles ne sont pas recouvertes d'autres nappes. L'espace blanc contigu, où le pointillé a dû être évité pour des convenances graphiques, a la même signification.

6', vaste paquet de plis en retour et de nappes rétrogrades appartenant à la zone pennique des Alpes, sous-charriée par l'Afrique et par le vrai Apennin qui est de ce continent. Cet encapuchonnement de l'Afrique est dû à la forte résistance du promontoire ligure de l'Eurasie, et à ce que le bord africain se tenait peut-être, dans ce segment, un peu plus bas que dans les segments adjacents. Mais la vieille Eurasie n'est pas sous-charriée par la Gondwanie en cette région ; c'est l'inverse qui a lieu. On voit le matériel pennique, aux deux extrémités du capuchon, se replier à l'avant puis au-dessous des nappes austro-alpines, et reprendre tout entier sa position normale. — Un capuchon de jeu analogue et symétrique existe peut-être dans la péninsule balkanique, au droit du promontoire gétique, mais on ne peut, en l'état du connu, rien dire de plus.

7, bord des nappes helvétiques et des nappes du Flysch carpathique. 7', l'autochtone du Balkan. 7'', cicatrices de terrains mésozoïques et autres (voir l'explication de la figure 27).

8, Dinarides. 9, Apennin vrai, c'est-à-dire surgi du talus de l'Afrique. 10, Atlas algérien et prolongements. 11, Atlas saharien, en plis de couverture moins prononcés qu'aujourd'hui.

12, gerbes faites des ailes gauches des virgations du deuxième genre par lesquelles se terminaient l'un après l'autre, en se relayant contre le bord occidental du gros du promontoire africain, l'Atlas saharien, l'Atlas algérien, l'Apennin et le capuchon pennique. Pour ce qui est advenu de ces gerbes, voir l'explication de la figure 27. Pas de continuation tectonique de l'Apennin dans les Dinarides, mais continuité du matériel stratigraphique. Apennin et Dinarides se terminent l'un en face de l'autre, dans la Haute-Italie, par des extrémités libres trop faibles pour exécuter, avec un petit rayon de courbure en plan, le difficile virage autour de l'extrémité nord-ouest de la partie la plus massive du promontoire africain.

13, Corse granitique. 14, l'Esterel, qui est avec le Mercantour et la Corse granitique la plus forte intumescence du promontoire ligure, lequel se prolonge à l'est sous les Alpes. 15, Sardaigne. 16, massif catalan. 17, massif de la Calabre et des Monts Péloritains, en nappes de recouvrement du cycle alpin. 18, massif de la Grande-Kabylie. 19, massif de Philippeville et de Bône. 20, Meseta marocaine.

21, sites en lesquels débiteront les distensions ou les disjonctions de la grande phase. A l'intérieur de l'Egée on a figuré par exception, avec des sites de distensions dont le début remonte à cette grande phase (sillon transégéen, sillon Vardar-Morava), les sites afférents à des distensions ou disjonctions postérieures, de moindre importance. Mais les sites de disjonction future indiqués le long des Iles Ioniennes, ainsi qu'entre la Messénie et la Crète, répondent à de très importants arrachements de la grande phase, ceux-là mêmes qui ont ouvert les profonds bassins de la Mer Ionienne et de la Méditerranée orientale.

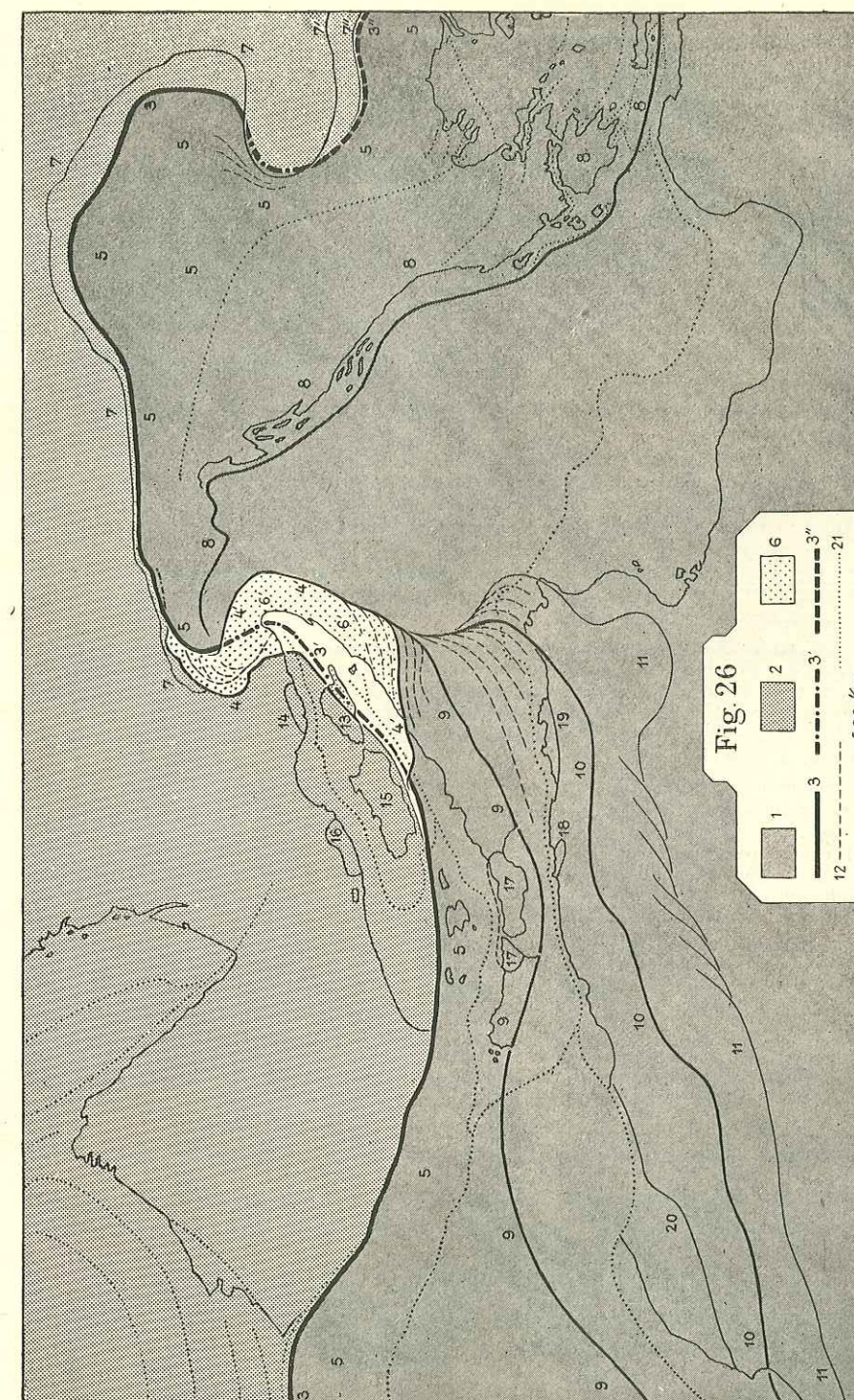


Figure 27. — L'état présent du bâti méditerranéen

Echelle : 1 : 18000000^e.

1, Gondwanie. 2, Eurasie. — Les parties les plus amincies du sal eurasiatique et du sal gondwanien, ainsi que le sima, restent en blanc.

3, 3', 3'', bord septentrional de l'Afrique charriée, avec la même légende de détail que pour la figure 26. 3''', raccord qui rappelle la grave disjonction éprouvée par ce bord entre la Sardaigne et les Baléares. — La projection horizontale du bord de l'Afrique (3'') passe aux lisières septentrionales du massif du Rhodope. Le bord est souligné par d'étroites cicatrices de terrains mésozoïques et autres, qui atteignent la Mer Noire, en direction, au golfe d'Iniada. Le tracé adopté, fort approché quant au plan, ne préjuge pas le site du bord quant à la dimension verticale ; il laisse aux nappes austro-alpines, c'est-à-dire à l'Afrique, le massif du Rhodope avec le gros ancien de l'Istrandja, et le massif byzantin, à savoir le Paléozoïque des deux rives du Bosphore, avec Constantinople.

4, bord externe de la zone pennique. 4', bord interne de la même.

5, nappes austro-alpines.

6, les nappes penniques, dans les quelques régions où elles n'ont pas été recouvertes d'autres nappes.

6', le capuchon pennique de l'Afrique, disjoint ou distendu au sud-ouest et à l'ouest, entre la péninsule italienne et le massif corso-sarde. La rentrée du capuchon, au nord, sous les nappes austro-alpines, est masquée par les dépôts tertiaires et quaternaires du Piémont ; les plis de couverture du Néogène des collines de Turin, qui s'incurvent au sud vers Moncalieri, sont de jeu bien postérieur.

7, bord des nappes helvétiques et des nappes du Flysch carpathique. 7', l'autochtone du Balkan. 7'', les cicatrices mentionnées à propos de (3''). 7''', l'autochtone des Alpes, Jura compris.

8, Dinarides. Les disjonctions de la grande phase ont laissé à l'Afrique un segment du front des Dinarides de Grèce, segment qui s'étendait, comme le fait voir aussi la fig. 26, des abords de la Messénie à ceux de la Crète occidentale et de l'île de Gavdos. Ce segment, fortement aminci et par conséquent déprimé avec le concours de l'isostasie, est révélé par la bathymétrie au nord de la Cyrénaïque, à laquelle il tient encore par un pédoncule distendu et assez étroit.

9, Apennin. Dans la péninsule comme en Sicile, le trait demi-gros définit le *minimum* de la largeur qu'on doit attribuer aux nappes, le bord de ces dernières étant caché, en général, sous des couvertures néogènes. 10, Atlas algérien et prolongements. 11, Atlas saharien, en plis de couverture, avec l'esquisse d'une aile droite de virgation du deuxième genre qui s'étend, pour le moins, du droit de Figuig au droit de Biskra et résulte d'un abordage oblique du fond saharien par le flux, en provenance du nord-ouest. Cette aile droite faisait autrefois un pendant à l'aile gauche mentionnée plus bas.

12, virgation du Banat et virgation interne des Alpes Occidentales, dues au dépassement des promontoires gétique et ligur par le flux, suivi de l'épanchement de ce flux dans l'un et dans l'autre rentrant. Alignements méridiens de l'Italie centrale, obliques par rapport au front de la chaîne : ce sont des restes déformés de la virgation du deuxième genre que marquaient, à l'aile gauche, l'Apennin et son capuchon pennique. Les restes des virgations analogues par lesquelles l'Atlas algérien et l'Atlas saharien se terminaient à leur aile gauche ont été amincis avec le promontoire africain, puis engloutis sous l'Apennin qui dérivait à l'est en s'incorporant ce sal mince.

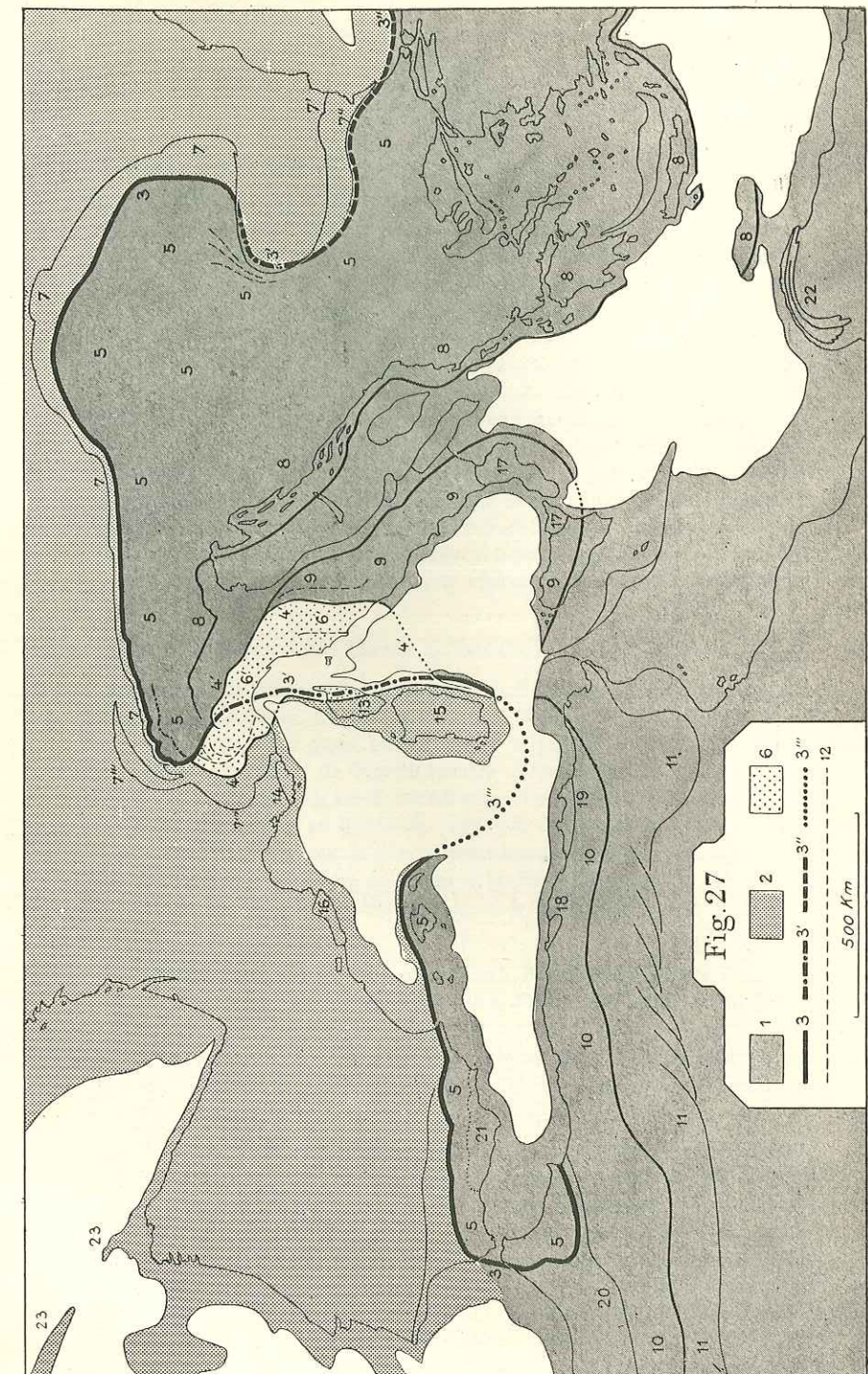
13 à 19, comme dans la figure 26, mais avec les changements de site.

20, Meseta marocaine, affrontée depuis l'Helvétien par le Rif, suite bouclée de la Cordillère bétique.

21, contour approximatif de la fenêtre pennique de la Sierra Nevada, en prolongement de la zone pennique des Alpes. Exception faite du massif de la Calabre et des Péloritains, les autres fenêtres ne sont pas indiquées.

22, plis de couverture de la Cyrénaïque.

23, restes étirés des plis de fond cantabriques-pyrénéens, avec traces du pédoncule d'arrachement qui s'est formé pendant la traction exercée par l'Amérique du Nord, puis par la crête médiane de l'Atlantique.



SOMMAIRE

Propos liminaire : les cycles d'orogénèse	171
I. — De l'art d'interpréter les faits structuraux. Tectonique en arrêt et tectonique en mouvement. Vision et théories. Pas de synthèse du mouvement sans la vision d'un continu à trois dimensions en train de se déformer. Que la tectonique en mouvement, la déformation en acte, règle les principaux événements de l'ordre stratigraphique et de l'ordre morphologique. Des trois aspects de toute déformation. De l'aspect vertical : les jeux d'axe des plis et le rôle des obstacles. De l'insignifiance des plus grandes failles verticales au regard des dimensions du volume déformé. Prédominance des aspects horizontaux. Du recours aux mouvements épirogéniques et aux dislocations radiales. Fragilité de ces hypothèses, et pourquoi il convient de les remettre en question. Primat de la déformation en volume sur les jeux cassants. Des pays tabulaires. Des vrais plis transversaux et des traces transversales. Des plissements en retour. Des géosynclinaux dont l'histoire embrasse plus d'un cycle d'orogénèse (géosynclinaux polycycliques). De l'inégale sensibilité des enregistreurs du mouvement. De la vision du mouvement déformateur total	172
II. — La Carte tectonique de l'Eurasie à l'échelle du huit-millionième	181
III. — Bref aperçu de l'Asie précambrienne et de l'Asie calédonienne. Le massif sibérien et ses entours. Limite vers l'arc de Taïmyr. Limite vers l'arc de Verkhoïansk, fragment d'une chaîne alpine périarctique. Du massif sinien. Plissements marginaux de l'amphithéâtre d'Irkoutsk. Du problème des fautes sibéro-mongols. Fragments antédévonien englobés dans le Kouen-Lun. Fragments calédoniens en Birmanie. Influence de l'orogénèse calédonienne sur les vieux massifs et sur le géosynclinal himalayen. Du plissement calédonien en Asie et hors d'Asie. Le Proto-Atlantique, géosynclinal calédonien. De la dépression entre la plateforme russe et le massif sibérien au cycle calédonien	183
IV. — Bref aperçu de l'Asie hercynienne. Oural, Massif de la Steppe Kirghize, Altaï Russe, Tarbagataï, Alataou d'oungare, Tien-Chan, Kouen-Lun, Chine. Le tronc hercynien commun de l'Asie centrale. Sa division en branches vers l'ouest. De la délimitation des massifs anté-hercyniens qui provoquent cette division. Plis hercyniens du faite. Influence de l'orogénèse hercynienne sur les vieux massifs et sur le géosynclinal himalayen	192
V. — Traits généraux du cycle alpin. — Du sous-cycle andin. — Bref aperçu des plissements andins, des plissements laramiens et des plissements proprement alpins dans les chaînes de l'Amérique occidentale. Deux générations principales de plis neufs : l'une d'âge andin, l'autre d'âge proprement alpin. Deux générations de plis de fond : l'une d'âge laramien, à matériel figé principalement précambrien, l'autre d'âge proprement alpin, à matériel figé principalement andin. Distribution de ces objets ; esquisse du mouvement. — Synergie des mouvements andins d'Amérique et d'Eurasie. De mouvements appartenant au cycle alpin, mais dont la limite d'âge supé-	

- rieure ne peut être exactement assignée en l'état du connu : Péninsule de Malacca, Indochine, Chine, Corée (avec coup d'œil sur les plissements anté-alpins), Mandchourie, Sibérie orientale. Mouvements andins : Japon, Himalaya, Sibérie septentrionale. — Des mouvements antélutéliens : synergie avec les plissements laramiens ; cas des Alpes 194
- VI. — Du jeu de la Téthys et de ses *arrières* continentaux en temps de compression. Puissance et résistance. Esquisse d'une distribution de l'énergie entre les objets pliants des diverses catégories. Energie intra-continentale. Energie de serrage. Energie des chaînes neuves. Energie restituée aux marges continentales 201
- VII. — Du jeu des chaînes de la Téthys : aperçu général. — Cas particuliers : Himalaya, Tibet, arc iranien méridional, arc de Mascate. — Plissements de couverture de l'Indo-Afrique. — Prolongement asiatique de l'aile septentrionale, mue au nord, de la double chaîne méditerranéenne 204
- VIII. — Des virgations. Virgations du premier genre. Virgations du deuxième genre. Définitions. Formes. Esquisse du régime de déformation. — Cas particuliers. La virgation persane. La virgation afghane. Interprétation des arcs de détail dont se complique, à l'aile orientale, l'arc iranien méridional, et coup d'œil sur les principaux jeux d'axe de cet arc. — Comment les virgations permettent d'indiquer le sens général de l'écoulement des flux plastiques. — Virgations de plis de couverture. Virgations de plis couchés. Virgations de cordillères. Virgations de plis de fond 207
- IX. — De la déformation de la vieille Eurasie, au nord de la Téthys, pendant le cycle alpin : aperçu général. Les marges septentrionales de la Téthys d'Asie, du Permien à la veille des paroxysmes tertiaires 212
- X. — Des *plissements de couverture* : régime de déformation ; exemples asiatiques et autres ; comparaisons. — Des *plis de fond* : définition, formes. Des chaînes *réglées*. Caractères communs aux plis de fond et aux plis ordinaires. — Les grands jeux d'axe des chaînes américaines de l'Ouest : interprétation. — Explication des jeux d'axe, en général, par le concours de l'effort tangentiel et des résistances situées au droit. Difficultés de la théorie épirogénique. L'exaltation et l'abaissement des axes, saisis dans leur mouvement même, sont des aspects verticaux du plissement en acte. — Des *voussoirs de plis de fond*. Qu'il n'est pas, sur notre Terre, de fracture dont l'origine radiale soit au-dessus de toute contestation. — Nappes à charriages cassants, dérivées de plis de fond. Renflements qui préludent à ces charriages. — *Reviviscence* des vieux bâtis par plis de fond. Avant-pays reviviscents. — Prépondérance énergétique du plissement de fond sur celui des chaînes neuves. Ces chaînes, et notamment celles qui proviennent de géosynclinaux, tombent au rang de détails subordonnés au plissement de fond. Le plissement de fond travaille la masse entière des continents : c'est la réaction spécifique des masses continentales à l'effort tangentiel, et la principale manifestation du plissement sur cette planète 214
- XI. — Le duel de l'Indo-Afrique et de l'Eurasie : caractéristiques et aperçus généraux. Bref condensé des événements paléozoïques : comment s'est faite la vieille Eurasie. Le duel pendant le cycle alpin. Spécialisation des segments premiers, au cours des temps, en segments plus courts voués à des tâches particulières. Les traits les plus généraux de la distribution des effets verticaux en Eurasie, au Mésozoïque et au Nummulitique, avant les paroxys-

- mes tertiaires. Différences que présentent à cet égard la vieille Europe, la vieille Asie ou Terre de l'Angara et le segment intermédiaire. Les jeux d'axe du plissement de fond embryonnaire rendent compte de ces différences, sans épirogénèse. Cette vue situe les différences dans l'ensemble du jeu, dont l'unité apparaît. Des plis de fond embryonnaires de la marge sud de la Terre de l'Angara : relation avec les mouvements de l'Inde au Mésozoïque ancien. — De la chronologie des paroxysmes tertiaires en Asie. — De l'intumescence tibétaine : structure en chaîne double ; deux ailes à déversements opposés. Site médian de la Téthys écrasée. Deux marges à plis de fond : la zone himalayenne et le Kouen-Lun. Analogie avec le dispositif méditerranéen. Allongement des plis au cours du temps 223
- XII. — Des segments de flux. Influence des obstacles et des chenaux sur la segmentation tectonique. Comparaison, pour l'image, avec l'écoulement d'un fleuve contrarié par ses berges, par les piles d'un pont et par des obstacles irrégulièrement distribués. Image des jeux d'axe. Des diamètres de flux. De la notion de ligne directrice. Schématisme linéaire et vision dans l'espace 226
- XIII. — Le *segment de l'Asie centrale* : délimitation ; traits généraux du régime de déformation propre à ce segment. Du *segment touranien*. Sur la condition de l'Asie orientale à l'égard du segment de l'Asie centrale 228
- XIV. — Reviviscence des vieux bâtis de l'Eurasie au cycle alpin : rôle des très vieux massifs et des ex-géosynclinaux. — Division du segment de l'Asie centrale en deux segments plus courts dont le régime se prononce à mesure du rapprochement de l'Inde et de la Terre de l'Angara : le *segment indo-sibérien* et le *segment indo-mongol*. Rôle du massif sibérien dans cette affaire. Traits généraux des régimes d'écoulement propres aux deux segments nouveaux. Les grands jeux d'axe : illustrations tirées de l'Altaï Russe, des faîtes, du Tien-Chan, du Gobi et de l'intumescence tibétaine. — La *Sérinde*, l'espace indo-sérindien et l'espace sérindo-sibérien 229
- XV. — La Sérinde : délimitation. Plis de fond qui enclosent l'espace sérindien. Le problème du fond sérindien : peu de données immédiates. Que ce problème est abordable à la condition d'élucider le jeu des plissements qui entourent la Sérinde au près et au loin. — Le côté sud-est de la Sérinde et la virgation du Kouen-Lun moyen. Le Nan-Chan, l'Altyn-Tag et leurs arrière-chaînes forment le gros de cette virgation. Le flux profond qui porte le Kouen-Lun s'écoule au nord-est. — Le côté sud-ouest de la Sérinde : l'arc de Yarkend et les éléments alpins neufs situés en amont. Déversement au nord-est vers la Sérinde 231
- XVI. — Le périmètre septentrional de la Sérinde. La distribution des jeux hercyniens dans le Tien-Chan implique l'existence d'un obstacle situé sous la Sérinde. Le Tien-Chan appartient à un ensemble plus vaste, la *virgation touranienne*. Il est le principal élément de l'aile gauche de cette virgation. Le segment central de la virgation couvre la Sibérie occidentale et le Touran. Caractéristiques générales des jeux pliants dans ce segment. Le diamètre central de la virgation touranienne. L'appel de matière à l'amont du flux touranien : le Massif de la Steppe Kirghize. L'influence des berges du couloir touranien : traits généraux 234
- XVII. — Deux virgations touraniennes : l'une hercynienne, en plis neufs, l'autre alpine, en plis de fond. Le cadre anté-hercynien est commun aux deux

virgations. La berge droite du couloir touranien : plateforme russe, massif podolien et massif arabe. La berge gauche du couloir touranien : massif sibérien, massif des faîtes, massifs sérindien et indien. — L'influence du massif des faîtes : plan hercynien de l'Altaï Russe ; adaptation aux saillants de l'Alataou de Kouznetsk et de l'Altaï Mongol, ainsi qu'au rentrant intermédiaire. Déformation alpine de l'Altaï Russe : différences et analogies à l'égard des déformations alpines du Massif Kirghize, du Tien-Chan et de ses arrière-chaînes. Explication de ces faits par la conformation des berges et la variété des conditions imposées à l'écoulement du flux. — Croissance des effets du plissement de fond à mesure qu'on approche de la Sérinde. Ce fait confirme la notion d'un massif sérindien résistant. Le Tien-Chan, gonflé en magnifiques plis de fond, résulte de l'affrontement de la Sérinde par le flux. Résolution des plis de fond en nappes cassantes qui surmontent la Sérinde. — Le jeu des plis de fond est plus contraint dans le Tien-Chan, plus libre dans les arrière-chaînes (Tarbagataï, Saour, Alataou dzoungare). Les différences s'expliquent par la distance à l'obstacle sérindien, les analogies par les conditions communes à l'ensemble du flux. — Les branches septentrionales du Tien-Chan : le régime du plissement de fond est intermédiaire entre celui des arrière-chaînes et celui qui s'avère dans le gros du Tien-Chan. La Dzoungarie. La Bogdo-Ola et l'arc de Barkoul. Influence lointaine du promontoire d'Irkoutsk. — Le flux touranien et le flux sérindo-altaïque, éléments du flux total. Leur interaction, leur dosage par régions, leurs effets. Comment le massif des faîtes et le massif sérindien ont influencé la distribution de ces jeux. — Plan général de la virgation dans le Tien-Chan. Les charriages bordiers du Tien-Chan ; leurs jeux d'axe. Cassures et déplacements en long. — Les étoilements du Tien-Chan 236

XVIII. — Jugement de la question sérindienne. Qu'il existe un vieux massif sérindien, butoir commun au Tien-Chan et au Kouen-Lun poussés en sens inverse. — Les jeux pliants de l'espace indo-sérindien et ceux de l'espace sérindo-sibérien ont été dissymétriques pendant les cycles anté-alpins. La structure symétrique, en éventail, qui paraît dans l'un et dans l'autre espace est l'œuvre du cycle alpin. Le rétrécissement de l'espace indo-sérindien a été si grand que le régime de déformation en a été modifié qualitativement. D'où la nécessité d'admettre un déplacement horizontal très considérable de l'Inde pendant le cycle alpin. Des conditions antérieures : bref coup d'œil sur la Téthys paléozoïque. — De quelques différences entre l'éventail indo-sérindien et l'éventail sérindo-sibérien. — Le jeu alpin des faîtes, par plis de fond, se complique d'importants charriages cassants dirigés vers l'intérieur de l'amphithéâtre sibérien. Discussion de quelques faits relatifs aux grands mouvements horizontaux signalés dans cette région. Notion d'un massif sibérien hétérogène aux faîtes et formant butoir. Ces charriages alpins de Sibérie sont symétriques de ceux du Tien-Chan, d'où confirmation du serrage survenu entre le massif sérindien et le massif sibérien 242

XIX. — Comment les flux opposés du Tien-Chan et du Kouen-Lun se rencontrent à l'est de la Sérinde, dans le chenal sino-sérindien. Le flux du Kouen-Lun, coulant au nord-est, prend le dessus dans le Nan-Chan. Rôle de l'Ordos, éperon sud-occidental du massif sinien. La grande serrée du Galbyn-Gobi. La virgation de l'Ala-Chan 247

XX. — L'espace sino-sibérien. Si le géosynclinal hercynien du Tien-Chan s'est prolongé en un trait continu, dans cet espace, jusqu'à la mer d'Okhotsk. Du

plissement de fond dans le massif sinien et dans l'espace sino-sibérien. Sikhota-Alin, Mandchourie septentrionale, pays amouriens. — Rapports hypothétiques des massifs sérindien, sinien et sibérien en des temps très reculés. — Les limites des très vieux massifs sont incomplètement connues, mais les reviviscences par plis de fond alpins permettent d'en deviner quelque chose. Notion des *masses nucléaires*. — Comment le massif sinien a réagi au plissement de fond alpin ; différences de comportement entre les bords du massif et la région centrale. — Interprétation provisoire de l'espace sino-sibérien par la notion de géosynclinal polycyclique et par celle de masse nucléaire. De quelques particularités des plis anté-alpins dans cet espace et dans des régions limitrophes 249

XXI. — Coup d'œil d'ensemble sur les plis de fond du segment de l'Asie centrale. Ce qu'ils révèlent du jeu des plis de fond en général. Pour de grands objets, la plasticité moyenne diminue et le figé moyen augmente avec l'ancienneté des bâtis. Discussion de ce résultat : linéaments essentiels d'une explication 253

XXII. — L'Oural, élément de l'aile droite de la virgation touranienne. Pourquoi le jeu de cette aile est moins intense et plus lent que celui de l'aile gauche. Déficience et retard des jeux hercyniens de l'Oural à l'égard de ceux du Tien-Chan. Déficience des jeux alpins de l'Oural ; caractères infantiles du plissement de fond. Segmentation hercynienne et segmentation alpine de l'Oural : rôle déterminant des singularités du bord oriental de la plateforme russe. Timan et Nouvelle-Zemble. Mougodjars et Tien-Chan : le raccord entre les plis de fond alpins est très vraisemblable mais ne préjuge pas le tracé exact de la liaison entre plis hercyniens au travers du segment touranien 255

XXIII. — L'arc Gégouli-Erghéni. Les éléments plissés alpins des steppes au nord de la Caspienne. De la plateforme russe. Le jeu essentiel du Caucase : c'est le massif arabe qui a provoqué ce plissement de fond et localisé sa culmination. Jeux analogues de la Lusace au droit du massif précambrien de Bohême 256

XXIV. — Les plis de fond de l'Europe 258

XXV. — Nouvelles généralités sur le plissement de fond. De la notion de flux plastique. De la notion de sous-courant. Plissement de fond et stratigraphie. Plissement de fond et morphologie. — Les *effets verticaux* du plissement de fond et les notions courantes sur les *mouvements verticaux*. Discussion. La déformation en volume est le réel et le concret ; l'idée de déplacement linéaire est un artifice d'analyse, sauf au cas particulier de très petits objets. Qu'un grand objet tectonique ne peut se déplacer sans se déformer. De l'hypothèse des mouvements eustatiques. Du jeu des vastes massifs de très grand rayon de courbure : dômes, boucliers et plateformes. Que ces objets sont ou ont été des plis de fond, ou des complexes de plis de fond. Que les grands boucliers, du type de la Fennoscandie ou de la Laurentia, sont pour l'essentiel des *brachyantoclinaux de fond*. Synergie de la déformation qui engendre ces vastes plis de fond et de celle qui moule les plis de fond réglés situés au droit. La règle des jeux d'axe montre la réalité de cette synergie, dont on peut concevoir bien des cas particuliers. — Déformation tectonique, isostasie et anomalies de la pesanteur. Des multiples interactions de ces facteurs. Jeux principaux ou essentiels et jeux secondaires ou accessoires. Importance de cette distinction pour l'interprétation des faits des trois

ordres et pour leur synthèse. Critères. Du caractère secondaire des jeux isostatiques commandés par des actions externes, telles que surcharge par sédimentation ou glaciation, et allègement par érosion ou déglaciation. — Que le plissement de fond peut être regardé comme un plissement de couverture réalisé à une échelle immense. — Des structures *infratectoniques*, résultat de la déformation aux grandes profondeurs. Nécessité d'hypothèses relatives aux symptômes infratectoniques du plissement de fond. Hypothèse du *sal* et du *sima*. Les *loupes* de sal profond se forment sous les grands anticlinaux de fond comme sous les chaînes neuves, et il en résulte de fortes anomalies négatives : c'est un des jeux infratectoniques essentiels. Autre jeu essentiel sous les régions distendues : l'amincissement du sal et la montée du sima. — Que les jeux secondaires peuvent entraîner le remaniement ou la liquidation des objets infratectoniques essentiels. Que ces modifications, toutefois, sont loin de dominer au total. — De l'interprétation des cartes d'is anomalies de la gravité. Qu'il est expédient d'interpréter les anomalies à la lumière de la tectonique visible. Dangers du procès inverse. Discussion des anomalies Bouguer aux Etats-Unis. Afrique orientale et mer Rouge. De l'Europe extra-alpine. De l'Asie centrale. De l'Himalaya et de l'avant-fosse indo-gangétique. — Dans l'ensemble des zones à plis de fond et à chaînes neuves, les effets essentiels l'emportent éminemment sur les effets secondaires. Importance des jeux d'axe à cet égard. — Que les aspects horizontaux dominant de beaucoup dans la déformation générale. Impuissance des schèmes linéaires à rendre compte de quelque déformation que ce soit. L'existence des jeux d'axe, leur réduction à un jeu tangentiel et le fait que le plissement de fond affecte la masse entière des continents empêchent toute diagnose certaine de mouvements verticaux linéaires et originaires. Les notions de mouvement épirogénique et de dislocation radiale privées de tout fondement certain. — L'explication du plissement de fond requiert, à l'échelle supérieure, une déformation de jeu essentiellement horizontal embrassant toutes les masses continentales et leurs annexes

267

XXVI. — Du continu et du discontinu en tectonique. Le continu est la forme de la vision synthétique du mouvement ; le discontinu répond aux exigences de l'analyse. Nécessité et dangers de l'imagerie d'un continu en train de se déformer. Que cette imagerie doit être exactement lestée de critique rationnelle. Qu'elle peut atteindre, d'une seule vue synthétique et condensée, le résultat global d'une multitude de petits déplacements réalisés aux échelles inférieures. — L'Asie orientale : délimitation. La grande protubérance du sud-est de l'Asie, de l'Assam à Formose par l'Insulinde et les Philippines ; l'Indochine. De quelques analogies de jeu entre cette protubérance et le segment iranien-touranien. Le grand sud chinois. Le Tsin-ling-Chan. Les plissements récents du Kan-Sou et du Chen-Si occidental. — Que les guirlandes posent comme toute l'Asie orientale, mais avec une insistance particulière, l'immense problème de la nature des fonds océaniques et celui de la fixité ou de la mobilité des continents. Impossibilité d'éluder la question à moins de s'en tenir, pour de trop grandes parties de l'Asie orientale, au catalogue analytique des faits connus

283

XXVII. — La tectonique concrète et les théories de la Terre. Deux attitudes de l'esprit devant le problème des continents : le *fixisme* et le *mobilité*. — De quelques théories qui impliquent le fixisme. Vue du mouvement déformateur total dans le fixisme classique. Cette vue, en la supposant juste, doit être élargie de manière à embrasser le plissement de fond, réalité

indépendante de toute théorie. La théorie de la contraction et le plissement de fond. Esquisse d'un prolongement de la vue classique ; objections. — Fixisme mitigé ; mobilité limitée des continents. — De quelques conséquences tectoniques de l'hypothèse d'un voile de sal mince répandu sur le sima océanique. — De la théorie mobiliste, ou théorie des grandes dérives continentales

288

XXVIII. — Coups de sonde. Le problème de l'Océan Pacifique. De quelques-unes des conditions les plus générales qui prévalent dans les fonds sous-océaniques, et singulièrement sous le Grand Océan. Que ce problème est abordable, indirectement, par l'étude des variations du tonnage des chaînes circumpacifiques, comparées aux variations de la même grandeur dans les chaînes issues de la Téthys. Jauges statistiques. Tonnage ravivé, tonnage neuf, tonnage total, tonnage normatif ou tonnage par unité de longueur de chaîne, cote énergétique d'un segment de chaîne : définitions, critères, inférences. — De quelques faits significatifs. Les fluctuations du tonnage normatif sont plus modérées, moins sujettes aux extrêmes dans la ceinture circumpacifique que dans la demi-ceinture de la Téthys. Interprétation : le fond de l'Océan Pacifique est fait d'un milieu plus homogène et plus rémissif, en moyenne, que les hauts des bâtis continentaux. Pas de continent pacifique affaissé. Pas de géosynclinal circumpacifique. Qu'il y a une notable différence de jeu entre les chaînes circumpacifiques et les chaînes issues de la Téthys. Des chaînes *liminaires*, produits de la déformation pliante des marges continentales et notamment des talus. Dispositif monoclinale au départ des chaînes liminaires. Analogies et différences de comportement entre ces chaînes et celles qui proviennent de géosynclinaux. Deux espèces de chaînes neuves : les chaînes géosynclinales et les chaînes liminaires. Esquisse de la distribution de l'énergie dans les chaînes liminaires et dans les portions de marge continentale situées au droit. Commande des plis dans ces chaînes. — Accord des interprétations qui précèdent, et des faits nouveaux qui les autorisent, avec le mobilisme. — Autres faits significatifs. Le tonnage normatif des chaînes circumpacifiques, en Asie orientale, est moindre que que dans l'Amérique du Nord. Accord avec la distribution des *jeux de poupe* et des *jeux de proue* invoqués par le mobilisme. — Le contractionnisme fixiste, devant ces faits nouveaux, ne peut recourir qu'au hasard. — Le tonnage normatif d'âge andin. — La théorie mobiliste et le plissement de fond. — Les grands effets de traction, aspects négatifs du plissement de fond. — Le mobilisme et la notion de géosynclinal. — La *dérive sur loupes* et les jeux d'axe. — Les jeux d'axe à l'échelle des plis de fond et leurs analogues à l'échelle continentale. — De la complication des flux plastiques. — Les jeux d'axe et les grandes disjonctions

293

XXIX. — Aperçus. Les anomalies Bouguer aux Etats-Unis et la dérive sur loupes. Le Proto-Atlantique calédonien et notre Atlantique. La Méditerranée et ses chaînes. La crête médiane de l'Atlantique. Le plissement de fond du continent de Gondwana : plis de fond marginaux et virgation intérieure. Du jeu des synclinaux de fond

302

XXX. — Aperçus (suite). L'Asie orientale. Festons du bord continental. Influence latérale du serrage indo-angarien sur l'Asie orientale ; ordre de grandeur du déplacement relatif de l'Inde et de la Terre de l'Angara. Sillons abyssaux, guirlandes et mers bordières. Survivance et déformation, dans le dispositif démembré par les jeux de poupe, d'une partie du plan antérieur

dû aux jeux de proue et aux plissements en général. Virgation des Alaskides et virgation des Philippines. Japon. En vue du Pacifique	321
XXXI. — Conclusion. La notion de plissement encadré généralisé. Enoncé. Du plissement encadré à l'échelle des plis de couverture, à l'échelle des chaînes neuves, à l'échelle du plissement de fond ou échelle continentale. Ordre hiérarchique des échelles et des genres de plissement encadré qui leur correspondent. Cet ordre est aussi, dans les grandes lignes, celui des distributions d'énergie. — La notion de plissement encadré généralisé comprend le mobilisme comme cas particulier. Du sima comme cadre, à l'échelle planétaire. Valeur du mobilisme. Du fonds commun au mobilisme et à la tectonique classique. Mobilisme originaire et mobilisme lesté de toute la tectonique concrète. — La notion de plissement encadré généralisé transpose en concepts une vision du plissement encadré à toutes les échelles. Cette vision implique, à l'état d'extrême condensation, une image approchée du mouvement déformateur total. Elle est indépendante de toute théorie. Comment elle se déploie en d'innombrables visions parcellaires qui participent du même caractère : images de mouvements ou mouvements d'images. Comment les visions parcellaires se transposent en idées. Souplesse des jeux et richesse en tours opératoires. Pas d'induration systématique. Cette vision d'ensemble satisfait à l'exigence de synthèse sans limiter la liberté de l'esprit à l'égard des théories. Avantages de cette attitude. Les théories et le primat de la tectonique concrète. Invention et critique ; visions et arrangements d'idées : l'équilibre nécessaire	324
Epilogue : L'Asie	329
Figures	331

ADDITIONS ET RECTIFICATIONS

- Page 173, ligne 41, *au lieu de* : toujours réductibles, *lire* : toutes réductibles.
 Page 188, ligne 11, *au lieu de* : faites, *lire* : faits.
 Page 204, ligne 3, *au lieu de* : terme, *lire* : termes.
 Page 206, ligne 16, *au lieu de* : de Bénoué, *lire* : du Bénoué.
 Page 223, ligne 20, *au lieu de* : taches, *lire* : tâches.
 Page 236, ligne 37, *au lieu de* : du cadre, *lire* : au cadre.
 Page 271, ligne 4, *au lieu de* : A plus forte raison saurait-on, *lire* : A plus forte raison ne saurait-on, ...
 Page 320, ligne 21, *après les mots* : les terrains cristallins, *ajouter les deux phrases suivantes* : L'ordonnance générale du drainage, dans le bassin du Congo, montre une étroite dépendance à l'égard de l'ombilic structural que marquent les plis de fond de cette région ; il en est de même, à l'égard de l'ombilic plus méridional, de l'ordonnance générale du drainage dans les bassins du Haut-Zambèze et du Ngami. Le faite topographique, entre les deux groupes de bassins, répond en gros au faite structural marqué par le bombement axial du 12^e parallèle. Le cours aval du Congo.... etc.
 Page 322, ligne 5, *au lieu de* : de grand serrage, *lire* : du grand serrage.
 Page 325, ligne 36, *au lieu de* : compartimenté, *lire* : compartimentés.